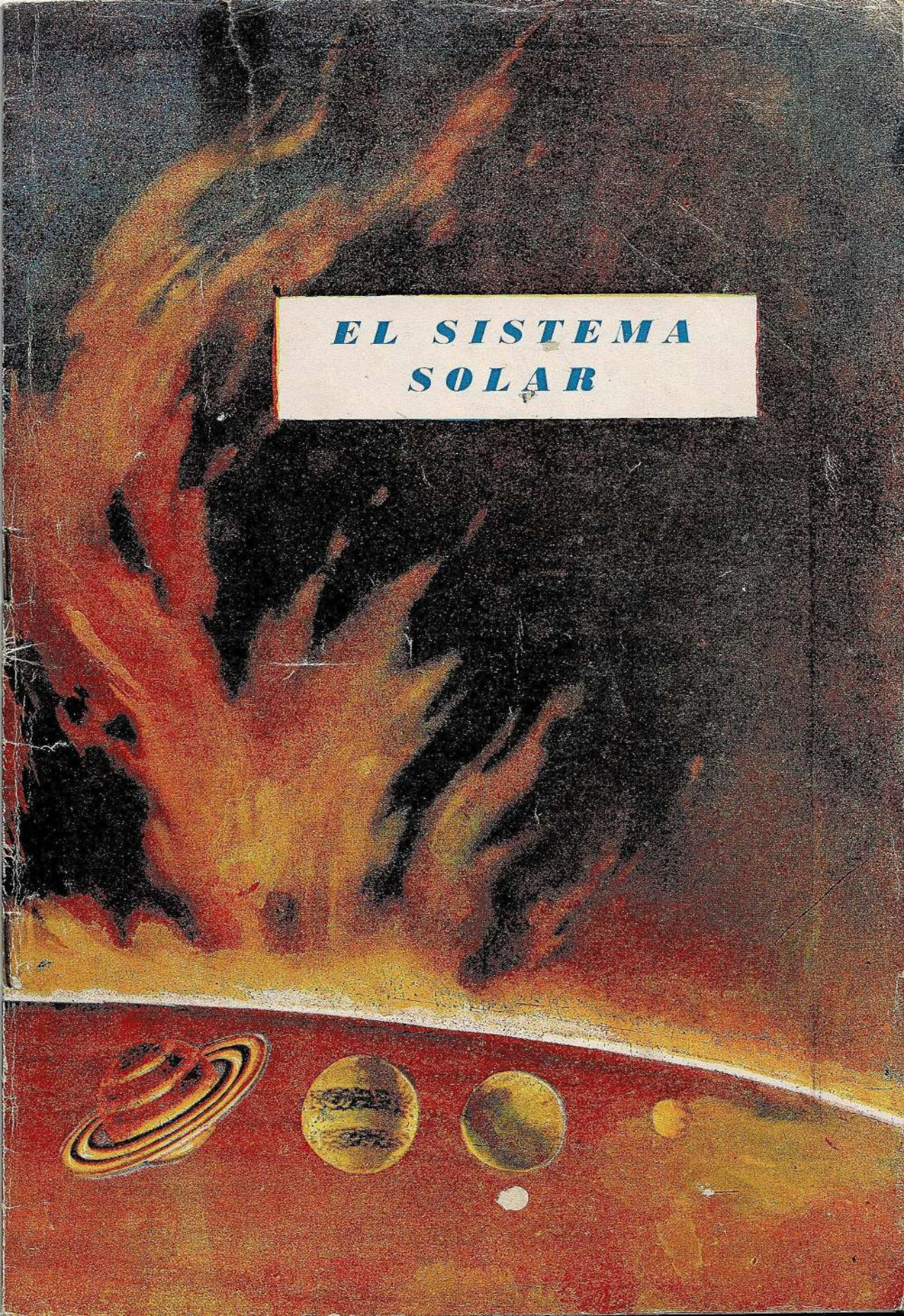
EL SISTEMA SOLAR



EL SISTEMA SOLAR

G. y C. Estremadoyro

Girando en torno al Sol hay una serie de astros, los principales son los planetas.

Damos un cuadro con las características físicas de los planetas, el Sol y la Luna. La distancia media de cada planeta al Sol en millones de Km, también en Unidades Astronómicas (UA); esta unidad es la distancia media Tierra-Sol, que vale 149.6 millones de Km. Así podemos saber rápidamente cuantas veces más lejos que la Tierra está otro planeta del Sol, asi Mercurio está a sólo 0.387 UA, esto es un poco más que la tercera parte de la distancia de la Tierra al Sol, en cambio Plutón está a casi 40 veces esta distancia del Sol.

También damos la distancia de cada planeta al Sol en tiempo luz, o el tiempo que demora la luz solar en llegar al respectivo planeta, asi la luz del Sol nos llega en 8min. y 19s. en cambio a Plutón demora 5h 27m, a pesar que la luz es el fenómeno más veloz que se conoce, se propaga con velocidad de 300,000 Km/s; a la Tierra le da 7/2 vueltas en un segundo.

Todos los planetas se trasladan en torno al Sol; el tiempo que tardan en dar una vuelta es el período de revolución. Todos los planetas se mueven en el mismo sentido: el contrario al de giro de las agujas del reloj. También todos los planetas giran en torno a su eje, casi todos en el sentido contrarios al de las agujas del reloj, pero Venus y Urano lo hacen en sentido contrario, se indica entonces que su período es negativo, —243 días para Venus y —11h para Urano.

La velocidad orbital se refiere a la velocidad con que se desplazan los planetas en su giro en torno al Sol, la Tierra lo hace a casi 30 Km/s, esto es a ¡108,000 Km/h!

Las órbitas de los planetas están contenidas prácticamente, en un plano, que casi coincide con el del ecuador del Sol, en la tabla damos la inclinación de la órbita de cada planeta con respecto a la terrestre que se llama eclíptica. La órbita más inclinada es la de Plutón con 17.2º. También damos la inclinación del eje de rotación de cada planeta, el de la Tierra es de 23º 27'.

Las órbitas planetarias son elípticas pero de muy pequeña excentricidad, es decir son casi circulares, como se puede apreciar en el cuadro. El Sol ocupa uno de los focos.

Medido el diámetro del planeta, que en la tabla se da en Km. se puede calcular su volumen que para una esfera es $4/3\ \pi\ r^3$ en la tabla se da el volumen de los diferentes planetas en comparación al terrestre que se ha tomado como unidad, asi vemos que el volumen de Venus es semejante al terrestre y el de Júpiter es más de 1300 veces mayor. En la lámina vemos representados los tamaños de los planetas comparados entre si y con el Sol, la escala es aproximada solamente.

Determinados la masa y el volumen de un planeta se puede calcular su densidad, que es la masa contenida en cada unidad de volumen y se calcula dividiendo la masa del planeta entre su volumen $D = M/V$ (gr/cm^3).

Si se conocen la masa de un planeta y sus dimensiones se puede calcular el valor de la aceleración de la gravedad en su superficie, usando para ello la Ley de Gravitación Universal, y vemos que tomando la gravedad en la superficie terrestre como unidad, en Mercurio la gravedad es sólo 0.4 la terrestre, quiere decir que los cuerpos allá pesan sólo las 4/10 de lo que pesan aquí, si una persona de 80 Kg. fuera a Mercurio pesaría sólo 32Kg. y en Júpiter pesaría 211 Kg por que la gravedad allá es 2.64 veces la terrestre, la persona no podría ponerse de pié.

El valor de la aceleración de la gravedad determina la velocidad de escape, esta es la velocidad con que hay que lanzar un cuerpo verticalmente, para que escape a la atracción gravitacional del planeta, entonces ya no caerá; para la Tierra es de 11.2 Km/s, para Mercurio sólo 4 Km/s y para Júpiter 59.2 Km/s.

La velocidad de escape tiene gran influencia en la composición de la atmósfera de un astro, si es muy pequeña los gases escapan porque la fuerza gravitacional, por lo débil, es incapaz de retenerlos, si es muy grande retendrá hasta los gases más livianos como el hidrógeno (H) y el helio (He) que es el caso de los grandes planetas.

La atracción gravitacional y la composición de la atmósfera determinan la presión atmosférica, que es la consecuencia del peso de la atmósfera, esta se mide en atmósferas, esto es el valor de la presión atmosférica al nivel del mar en la Tierra. En el cuadro vemos que en Mercurio es de una millonésima de atmósfera, practicamente no hay atmósfera en el planeta, en cambio en Venus es de 90 atmósferas.

La composición de las atmósferas planetarias se da sólo en sus principales componentes: bióxido de carbono (CO_2) ácido clorhídrico (HCl) ácido sulfúrico (H_2SO_4) oxígeno (O) nitrógeno (N) y metano (CH_4).

La composición de la atmósfera de un planeta depende también de la temperatura, por que a mayor temperatura las moléculas se mueven a mayor velocidad y escapan más fácilmente.

La temperatura de un planeta depende principalmente de la intensidad de la radiación solar que recibe y ello es función inversa del cuadrado de la distancia al Sol. En la tabla damos la radiación solar que recibe cada planeta por unidad de área en comparación de la que recibe la Tierra, que se ha tomado como unidad. Vemos que Mercurio recibe casi 7 veces más radiación solar que la Tierra, en cambio Plutón sólo 6 diez milésimas.

En la tabla se indica el número de satélites conocidos que tiene cada planeta.

En las distancias al Sol, vemos que entre las órbitas de Marte y Júpiter hay un enorme vacío de 3.7 UA, en este espacio giran en torno al Sol miles de planetas pequeños, son los asteroides o planetoides.

EL SISTEMA SOLAR

G. ESTREMADOYRO

En la lámina del Sistema Solar y en la tabla de las características físicas de los planetas, vemos que ellos giran en torno al Sol en órbitas cuyas características son prácticamente permanentes; el sistema es un conjunto ordenado, en el que cada astro conserva su lugar. La órbita que corresponde a un planeta se debe, fundamentalmente a su velocidad, como no hay nada que la varíe, el planeta permanece en ella. Para sacar a un planeta de su órbita necesitaríamos empujarlo dándole mayor velocidad, pasaría entonces a ocupar una posición externa, o lo jalamos quitándole velocidad en cuyo caso caerá acercándose al Sol, como no es posible empujar o jalar un astro éste continúa en su propia órbita sin salir de ella.

A veces dos planetas se acercan ubicándose a una distancia que es la menor entre ellos, esto sucede cuando ambos están en una recta al mismo lado del Sol, sin que ésto quiera decir que hay peligro de choque porque las distancias en Astronomía son enormes, asi la mínima distancia a que puede colocarse Venus de nosotros es de 54 millones de kilómtros y éste es el planeta más cercano a nosotros.

Otras veces los planetas pueden ubicarse a su máxima distancia cuando están en una recta con el Sol pero a ambos lados de él, entonces la distancia a Venus es de 210 millones de Km. Fig. 2.

En el cielo pueden distinguirse los planetas de las estrellas a simple vista por que brillan con luz serena y continua, sin titilar, sí lo observamos con un pequeño telescopio, se definen en un circulito brillante. Si lo observamos durante varias noches seguidas notaremos que de noche a noche su posición cambia con respecto a las estrellas, que por estar muy lejos aparecen como si estuvieran fijas en el cielo, lo veremos viajar en el cielo, de allí su nombre de planeta que significa viajero.

A veces un planeta pasa delante de una estrella ocultándola; la observación de estos fenmenos indica si el planeta tiene atmósfera, cuan densa es, si tiene anillos y permite el cálculo de su diámetro.

EL SOL

Es el astro principal del Sistema Solar y ocupa su centro, es el astro de mayor volumen, como vemos en la carátula, tiene casi el 99% de la masa del sistema, como se aprecia en el cuadro de la contra carátula. Es una estrella por que emite energía en forma de luz y calor, principalmente.

El Sol es el astro más importante para nosotros: toda la energía que hay en la Tierra es enegía solar, excepto solamente la atómica.

Todos los seres vivos lo somos gracias a la energía solar captada y transformada en energía química de los alimentos mediante la función de la fotosíntesis que realizan las plantas.

Los yacimientos de petróleo han sido formados por seres vivos atrapados en el interior de la Tierra por intensos cataclismos.

La energía hidráulica la debemos al Sol que evapora las aguas del mar y las lleva, en forma de vapor, hasta las cumbres de las altas montañas mediante el viento que asimismo es generado por la energía solar, allí se condensa y cae en forma de lluvia.

La energía del Sol, como la de todas las estrellas, es energía atómica, en el Sol se realiza la fusión del hidrógeno (H): 4 átomos de H se fusionan o unen para formar uno de helio (He). La masa de los 4 átomos de H es mayor que la del He resultantante, la diferencia de masa se transforma en energía radiante, de acuerdo a la expresión de la relatividad de Albert Einstein (1879-1955).

$$E = m.c^2 \qquad (1)$$

en la que E es la energía de la masa m y c es la velocdad con que se propaga la luz que es de 300,000 Km/s. Esta expresión nos indica que la masa es otra de las formas en que se presenta la energía.

Las partes principales del Sol son: *el núcleo central*, cuya temperatura se calcula

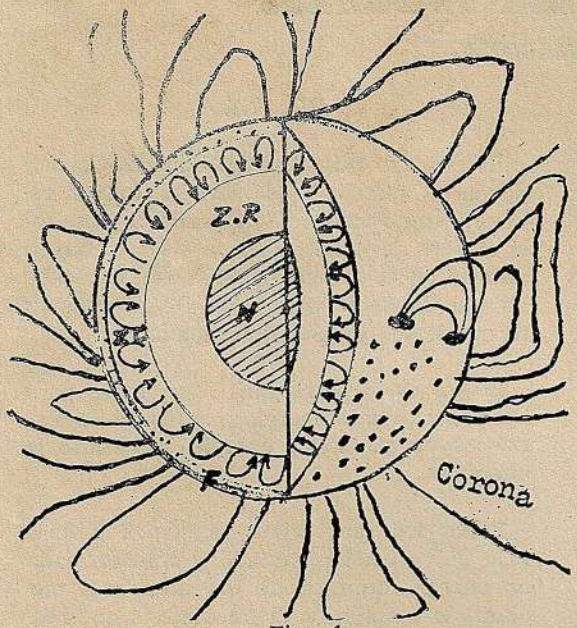


Fig. 1

en unos 10 millones de grados Celcius o centígrados sometido a una presión de millones de atmósferas lo que hace que la materia esté muy comprimida, su densidad debe ser de unas 100 veces la del agua. La materia debe estar en estado gaseoso porque a tan alta temperatura los átomos están ionizados, desprovistos de los electrones orbitales y por consiguiente no pueden unirse para formar moléculas. En esta región es que se realizan las reacciones atómicas a que hemos hecho referencia y que sólo se producen a millones de grados Calcius.

Envolviendo al núcleo hay una *Zona radiactiva,* en la que la energía sale hacia el exterior mediante procesos radioactivos en los que los átomos absorven, reemiten y dispersan la energía. Este proceso se realiza hasta una zona que está a un 80% del centro a la superficie del Sol, entonces los gases que forman el Sol se tornan inestables y la energía se propaga mediante corrientes de convección, Fig. 1. El rozamiento de los gases en esta zona proporciona la energía que eleva la temperatura de la Corona Solar.

La capa sobre la *zona de convección* es la *Fotósfera,* es la zona visible del Sol, de color rojizo amarillento en la lámina de la carátula, lo que delimita cuando lo observamos con equipos ópticos ,a través de ella sale la energía solar en forma de luz y calor principalmente. Estudiando su brillo se ha calculado su temperatura que es de unos 6000°C, grados Celcius.

Al estudiar la luz del Sol con los espectroscopios se ha comprobado que un 70% de su masa está constituida por hidrógeno, el gas más ligero que se conoce, el cuerpo más simple, su átomo está formado por un protón en el núcleo y un solo electrón orbital. Un 27% de helio, el segundo cuerpo más liviano y sólo un 3% de elementos con mayor masa como neón, oxígeno, nitrógeno, carbono, magnesio, argón, sílice, azufre, fierro, cloro, etc. en proporciones muy semejantes a sus abundancias en la Tierra, y como aqui, los cuerpos más abundantes son los más livianos, o los que tienen menor masa atómica.

Sobre las fotósfera está la *Cromósfera,* banda delgada, blanca en la carátula, compuesta por gases transparentes y de pequeño espesor. Debido a su transparencia sólo se le podía observar instantes antes que el Sol fuera ocultado completamente por la Luna, pero a partir de los eclipses de 1842, 1851 y 1860 se le ha estudiado con precisión mediante fotografía.

En 1868, Pierre Janssen observó por primera vez el espectro de la cromósfera y halló que estaba formado por líneas brillantes de diferentes cuerpos, entre ellas unas que correspondían a un elemento desconocido que recibió el nombre de helio (He) que en griego significa Sol. En 1895, Ramsay halló He en nuestro planeta, donde es muy raro.

Ahora puede estudiarse la cromósfera y la corona solar gracias a un telecopio especial inventado por el astrónomo francés Bernard Lyot en 1930, en él un disco oscuro produce un eclipse artificial de Sol y puede estudiarse sus componentes con todo detalle.

Aunque la cromósfera no tiene un límite exacto se considera que llega a unos 800 Km. de altura, su color rojo intenso se debe a la raya de luz roja emitida por el hidrógeno (H) y su temperatura va en aumento de 6000°C, sobre la fotósfera a unos 100,000°C en las zonas más altas.

La capa más exterior del Sol es la *Corona,* se la estudia con los coronógrafos. En 1978 se inauguró el coronógrafo del Observatorio Cosmos del Instituto Geofísico del

Perú en Huancayo, es el primero del hemisferio sur de la Tierra.

La corona está constituida por gases enrarecidos que llegan a tener temperaturas altísimas del orden del millón de grados debido a la energía que libera el rozamiento de los gases en la zona de convección, a pesar de su alta temperatura no contiene gran cantidad de calor o energía térmica porque los gases que la forman son muy enrarecidos.

La luminosidad de la corona se debe a la difusión de la luz emitida por el Sol, como lo hace la atmsfera de la Tierra, la neblina o las partículas de polvo.

Los estudios del Sol realizados con satélites artificiales y con los grandes telescopios de las estaciones orbitales Skylab y Salyut, demuestran que la corona solar se expande continuamente en el espacio produciendo un flujo de partículas ionizadas, con carga eléctrica, que se mueven a grandes velocidades del orden de 300 a 600 Km/s, es el llamado *Viento Solar*, que fue descubierto por los primeros satélites norteamericanos y soviéticos.

Cuando se observa el Sol con un buen telescopio o se toman fotografías, se puede ver que la fotósfera no es perfectamente lisa sino que tiene un aspecto moteado, con granulaciones claras y oscuras, es la granulación de la fotósfera solar, éstos se llaman granos de arroz, tienen un diámetro de unos 480 Km., están en continuo movimiento, los brillantes son columnas de gases muy calientes que emergen desde la zona de convección. Cuando los gases afloran irradian su energía, se enfrían y se les ve oscuros por contraste con los gases calientes brillantes, y se hunden nuevamente. Este movimiento radial de los gases tiene velocidades de 2 a 3 Km/s.

Lo que se observa más fácilmente en la fotósfera son las *manchas solares*, son zonas oscuras a veces tan grandes que llegan a verse a simple vista, mirando el Sol a través de un filtro, vidrio oscuro o película velada. Estas manchas ya fueron vistas en la época de los chinos, pero fue Galileo, en 1619, quien indicó que las manchas están en el Sol y no son fenómenos atmosféricos como se creía.

Las manchas solares son extensas depresiones en la fotósfera, cuya superficie queda algunos cientos de Km. bajo la superficie visible. La zona central es la más oscura debido a que su brillo es más o menos 1/4 menos brillante que el área vecina, su temperatura es de unos 3900°C, se llama la umbra ,es un área fría y rarificada y evidentemente la zona circundante presiona y confina el intenso campo magnético asociado con la mancha solar. Se ha generalizado la creencia de que el intenso campo magnético de la mancha solar es el responsable de la reducida temperatura de la umbra. pero la interrelación no está aún bien explicada.

La umbra está rodeada de una zona menos oscura, la penumbra, que tiene un borde estriado que trepa hacia afuera de la penumbra. Fuera de la penumbra el campo magnético vuelve a penetrar al Sol, generalmente por otras manchas vecinas de polaridad magnética opuesta. Fig. 1.

Corrientemente las manchas solares aparecen en grupos de varias, es en estas estructuras completas y de cambios rápidos que se observan las *erupciones solares*, se cree que su gran brillo se debe a la interacción de intensos campos magnéticos de polaridades opuestas que se aniquilan mutuamente emitiéndo luz de gran intensidad.

Las manchas solares aparecen siempre en zonas cercanas al ecuador, en el hemisferio norte y en el sur, su número y tamaño es variable de acuerdo a un periodo de unos 11 años; como las tormentas en la Tierra, se mueven lentamente. Del estudio de las manchas solares se ha deducido que el movimiento de rotación del Sol no es uniforme, dura 25 días en el ecuador y unos 27 en las zonas intermedias entre el ecuador y los polos. La duración de las manchas en general es pequeña, de unas horas hasta semanas.

En el limbo del Sol se observan enormes erupciones de gases, son las *protuberancias solares* que pueden llegar a tener alturas de cientos de miles de Km. de modo que la Tierra, como se ve en la carátula, podría ser fácilmente envuelta en una de ellas. Los gases emitidos, generalmente no vuelven verticalmente a la superficie del Sol, sino en trayectorias curvas, lo que se debe a que los gases en el Sol están ionizados y son desviados por el intenso campo magnético solar.

Se piensa que el intenso campo magnético solar se origina por las corrientes eléctricas constituidas por el flujo de las partículas ionizadas que constituyen el Sol.

Todos los fenómenos que hemos indicado: manchas solares, erupciones y protuberancias solares constituyen lo que se denomina actividad solar, cuya intensidad no es constante sino que varía en periodos de unos 11 años. Cuando la actividad solar es muy intensa hay gran número de enormes manchas en el Sol, se producen asimismo numerosas erupciones y grandes protuberancias, entonces la corona solar tiene dimensiones considerables e intenso brillo, las partículas atómicas emitidas, o sea el viento solar, es más intenso, al llegar a inmediaciones de la Tierra interacciona con el campo magnético terrestre produciendo tormentas magnéticas que interfieren las comunicaciones por radio, llegando a veces a bloquearlas y producen extensas y luminosas auroras en las regiones polares de la Tierra.

Sin embargo, han habido largos periodos en que la actividad solar fue tan poco intensa que no se regisraba ninguna mancha, como entre 1645 y 1715, entonces se observaba el Sol con telescopios pequeños, durante estos 70 años, la corona solar apenas se veía en los eclipses totales y no se producían auroras, esto se denomina el Sol quieto. Cuando en la primera década del siglo 18 se produjeron grandes auroras polares en Inglaterra y los países escandinavos, causaron pánico en los habitantes de estas regiones.

Ahora se estudia el Sol en frecuencia de ondas diferentes de las de luz, con los radiotelescópicos se le estudia en la zona de ondas largas de radio, y se ha comprobado que la intensidad de la radioemisión aumenta con la actividad solar.

El Sol emite también ondas electromagnéticas más cortas: rayos ultravioletas, rayos X y gamma. Instrumentos especiales para captar estas emisiones se han intalado en las estaciones orbitales, en la Luna y en satélites artificiales que estudian el Sol y el cosmos en estas frecuencias permitiendo conocer mucho mejor el Sol y las demás estrellas.

LOS PLANETAS

Vamos a pasar a ver las características de los diferentes planetas que giran en torno al Sol a la luz de los últimos estudios realizados con sondas interplanetarias.

Los planetas son astros opacos, no tienen luz propia, brillan porque reflejan la luz del Sol. Algunos de ellos tienen satélites.

Los cuatro planetas más cercanos al Sol: Mercurio, Venus, Tierra y Marte, se llaman planetas terrestres porque sus características son semejantes a las de la Tierra, como veremos. Luego siguen los grandes planetas: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Plutón y Chirón tienen características especiales.

M E R C U R I O

Es uno de los planetas pequeños del Sistema Solar, sus caracetrísticas físicas están en la tabla de la contra carátula. Es el planeta más cercano al Sol, debido a la intensa atracción gravitacional solar gira muy lentamente en torno a su eje y está sincronizado con su movimiento de traslación, de modo que su año, que dura 88 días terrestres, tiene sólo día y medio de Mercurio.

Para estudiar este planeta, que era muy poco conocido porque su observación es muy difícil debido a su cercanía al Sol, científicos norteamericanos lanzaron la sonda Mariner 10 que pasó cerca de Mercurio en 1974 tomando magníficas fotografías e interesantes datos que envió a la Tierra luego de lo que entró en órbita en torno al Sol, convirtiéndose en planeta artificial que vuelve a encontrar a Mercurio cada 176 días, en los otros dos encuentros con el planeta envió a la Tierra datos y fotografías de gran interés.

La temperatura del hemisferio de día llega a unos 480°C, en la zona ecuatorial, y 350°C en las polares,, en el hemisferio de noche la temperatura es de —170°C, estas enormes variaciones de la temperatura se deben a que Mercurio prácticamente no tiene atmósfera, la sonda captó una tenue envoltura de H, constituida probablemente por el gas proveniente del cercano Sol. Las fotografías muestran la superficie del planeta cubierta de cráteres, muy semejante a la Luna, éstos cráteres que son producidos por el choque de meteoros, son más pequeños que los lunares, indicando que la superficie de Mercurio es de un material más duro, en efecto, en la tabla vemos que la densidad de Mercurio es mayor que la de la Luna. Cerca de los polos hay grandes cráteres a cuyas zonas profundas jamás llegan los rayos solares.

En el primer encuentro con el planeta, la Mariner 10 pasó a sólo 700 Km. de alto y detectó un pequeño campo magnético que fué mejor observado en su tercer encuentro en que pasó a sólo 327 Km. Mrcurio tiene

un campo magnético dipolar cuya orientación casi coincide con su eje de giro, su intensidad es 0.01 la del campo terrestre, este campo parece que atrapa un poco de helio (He) proveniente del Sol.

Se considera que Mercurio tiene un núcleo de fierro (Fe), níquel (Ni) que alcanza al 80% de su radio, un manto y luego una delgada corteza formada principalmente por silicatos.

La superficie del planeta está cubierta por una delgada capa de polvo fino, como la Luna, de modo que exteriormente Mercurio es semejante a la Luna, pero interiormente es parecido a la Tierra.

En las fotografías tomadas por la Mariner 10 se aprecian altas cadenas de montañas que corren por cientos de Km. y alcanzan hasta 3000 m. de altura, su forma parece indicar la existencia de enormes fallas geológicas producidas seguramente, por los grandes esfuerzos generados durante su enfriamiento.

V E N U S

Es el segundo planeta en cuanto a distancia al Sol, es el que más se acerca a la Tierra cuando están en conjunción inferior, al mismo lado del Sol, entonces pueden estar a sólo 54 millones de Km.

Es prácticamente del mismo tamaño que la Tierra y como su distancia al Sol es semejante se pensó que serían planetas gemelos.

El planeta está envuelto en densas nubes que impiden ver su superficie, al estudiar su composición, espectroscópicamente, se vio que están constituidas por bióxido de carbono (CO_2).

La sonda Mariner 10 en su viaje hacia Mercurio pasó a 5,800 Km. de Venus, en mayo de 1974, envió más de 8000 fotografías del planeta. Llamó la atención el movimiento de las nubes que es casi paralelo al ecuador con velocidad de unos 360 Km/h, en la Tierra los vientos son de los polos hacia el ecuador. Esta dirección de los vientos se debe a que la temperatura de Venus es uniforme sin variaciones grandes entre el ecuador y los polos.

Su periodo de rotación es de 243 días terrestres, pero en sentido contrario al de los demás planetas, entonces el Sol sale por el Oeste y se oculta por el Este.

Observaciones usando radar, de la superficie venusiana indican que hay cráteres pero de paredes poco elevadas.

Las sondas soviéticas Venera 9 y 10 bajaron suavemente a la superficie del planeta usando paracaídas durante 90 minutos, la primera el 2 de octubre de 1975, fue el primer artefacto terrestre que bajó suavemente en otro planeta, la segunda lo hizo unos días después. Hallaron que la atmósfera de Venus está constituida por bióxido de carbono en un 97%, el resto está integrado por monóxido de carbono (CO), pequeñas cantidades de oxígeno (O), pequeñísima cantidad de vapor de agua, hallaron que en la baja atmósfera hay ácido sulfúrico (H_2SO_4) y clorhídrico (HCl) en gotitas, éstas son sustancias muy corrosivas. El H_2SO_4 es una sustancia muy ávida de humedad, higroscópica, por lo que se une a cualquier cantidad de agua que encuentre formando una nube de gotitas de ácido sulfúrico di luído.

La temperatura registrada en la superficie del planeta fue de 480°C, esta alta temperatura se debe a que las nubes de la atmósfera dejan pasar la radiación solar que se refleja en el suelo pero con longitud de onda más larga que es retenida por las nubes que prdoucen asi un intenso efecto de invernadero cuya consecuencia es la alta temperatura hallada. Además Venus, por su distancia al Sol, recibe el doble de radiación solar que la Tierra.

Las presiones registradas por las Venera, fueron del orden de 90 atmósferas, en la Tierra la presión al nivel del mar es de 1 atmósfera o torricelli.

Las Venera trasmitieron fotografías y datos durante menos de una hora porque fueron abrazadas por la alta temperatura, aplastadas por la enorme presión y corroídas po los ácidos de la atmósfera.

Se piensa que la atmósfera de Venus es muy diferente a la de la Tierra debido principalmente a la mayor radiación que recibe del Sol.

Las fotografías envíadas por las Venera, muestran rocas muy jóvenes, lo que indicaria que están en pleno proceso de formación.

Mercurio y Venus se mueven en torno al Sol en órbitas interiores a la terrestre, por ello se pesentan a veces, precediendo al Sol en su salida, son entonces luceros matutinos o de la mañana, otras se ocultan

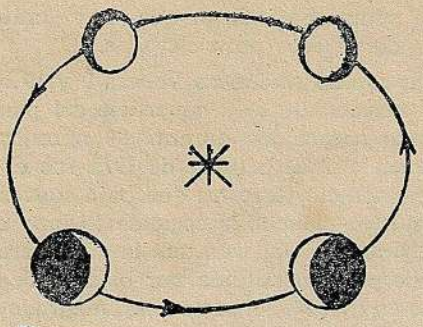


Fig. 2

después que el Sol, son entonces luceros vespertinos.

Venus tiene un gran brillo, de modo que en el cielo nocturno es el astro más brillante, después de la Luna, lo que se debe a que la capa de nubes que lo cubre refleja un alto porcentaje de la luz solar que le llega.

Como se aprecia en el cuadro del final, su densidad es menor que las de Tierra y Mercurio.

Nicolás Copérnico (1473-1543) indicó que como Venus gira en una órbita interior a la terrestre debe presentar fases como las de la Luna y que ello sería una prueba mas del Sistema heliocéntrico por él propuesto, este fenómeno no lo pudo observar porque entonces aún no se había inventado el telescopio. Un siglo después, Galileo observó las fases de Venus que se realizan como se muestra en la Fig. 2.

Se considera ahora que Venus debe tener un núcleo en estado líquido por su alta temperatura, un manto constituído por roca fundida y una delgada corteza. Las dimensiones de estas zonas aún no están bien determinadas, pero hay evidencias de que el núcleo es más pequeño que el terrestre.

Las medidas realizadas por las Venera demuestran que la radiactividad de las rocas en Venus es semejante a las de la Tierra.

Venus tiene una cantidad mucho menor de agua que la Tierra y carece de campo magnético.

Mercurio y Venus, por ser planetas interiores, a veces pueden pasar delante del Sol, cuando están en conjunción inferior, esto es entre el Sol y la Tierra, entonces se ve un pequeño circulto oscuro desplazándose en el círculo brillante del Sol, es el tránsito del planeta.

La observación del tránsito de Venus, desde lugares bien apartados de la Tierra se realiza para determinar lo más exactamente el valor de la Unidad Astronómica (UA), que es la distancia media de la Tierra al Sol. Ahora la UA se determina con mucho mayor precisión mediante ecos de radar.

L A T I E R R A

En esat oportunidad vamos a dar sólo las principales características de nuestro planeta ya que trataremos mas profundamente sobre él cuando veamos el interesantísimo tema de la vida en el universo.

La Tierra es nuestra morada, gira en torno al Sol en un año, el Sol no está en reposo sino que gira en torno al centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, arrastrando consigo a los planetas, de modo que podemos considerar que la Tierra es la enorme nave espacial en la que toda la humanidad, incluso nosotros, estamos realizando un maravilloso viaje por el cosmos.

La Tierra es el tercer planeta en cuanto a distancia al Sol, como vemos en la lámina del Sistema Solar y en el cuadro del final de este folleto.

Cuando observamos los astros vemos que salen por el Este, y se ocultan por el Oeste, en efecto vemos que el Sol sale temprano, a medio día está en su posición más alta, está culminando, y por la tarde unas 12h. después de haber salido se oculta por el Oeste, al día siguiente, a eso de las 6 de la mañana está saliendo nuevamente, tal como si hubiera dado una vuelta en torno a la Tierra en 24h o un día.

Al observar la Luna asimismo la vemos salir por el Este, 6h después está culminando, 12h más tarde se está ocultando, al día siguiente la vemos saliendo nuevamente, tal como si girara en torno a la Terra en unas 24h. Si observamos, las estrellas parecen asimismo girar en torno a la Tierra en 24h, igual sucede con los planetas.

No es raro entonces que el hombre pensara que lo que observaba era la realidad y creyó que la Tierra estaba en el centro del universo y que todos los astros giran en tor-

no a ella en 24h o un día, esta creencia la tuvo el hombre durante miles de años, recien en 1543 se publicó la obra de Nicolás Copérnico (1473-1543): "De Revolucionibus Orbium Coelestium" (La revolución de las órbitas celestes) en la que el astrónomo polaco dio a conocer el resultado de sus observaciones.

A Copérnico le llamó la atención que los astros, independientemente de su distancia a la Tierra, emplearan todos el mismo tiempo, 1 día, en dar una vuelta en torno a ella.

Cuando trató de encontrar la distancia a las estrellas halló, con sorpresa, que estaban muchísimo más distantes de lo que entonces se creía, pues aún el diámetro de la órbita de la Tierra era sólo un punto en comparación con la distancia a las estrellas, concluyó entonces que era imposible admitir que astros tan distantes pudieran dar una vuelta en torno a la Tierra en tan poco tiempo como un día. Explicó que este movimiento de los astros es aparente y no real y se debe a que la Tierra gira en torno a su eje en un día, por esto todos los astros parecen dar una vuelta en torno a nosotros en ese tiempo.

La forma y dimensiones de la Tierra la conocieron ya los griegos: Eratóstenes en el siglo III antes de Jesucristo se dio cuenta que el 21 de junio los rayos del Sol en Siene, ciudad de Egipto, hoy Asuan, penetraban hasta el fondo de los pozos en cambio en Alejandría no. Midió la distancia l hasta donde llegaban los rayos del Sol, y el diámetro del pozo, Fig. 3, con lo cual halló el ángulo (a) que forman entre sí las verticales de Siene y Alejandría, que es el ángulo que forman en el centro de la Tierra los radios que pasan por estas dos ciudades, en efecto tenemos que:

$$\text{sen (a)} = \frac{d}{1}$$

$$\text{(a)} = \text{arc. sen } d/1$$

Midió igualmente la distancia entre las dos ciudades, que están prácticamente sobre el mismo meridiano, es decir midió el arco AS que corresponde al ángulo (a), en el centro de la Tierra. Estas medidas las relacionó con las de la Tierra en las siguiente forma:

$$\frac{AS}{2\pi R} = \frac{(a)}{360^\circ}$$

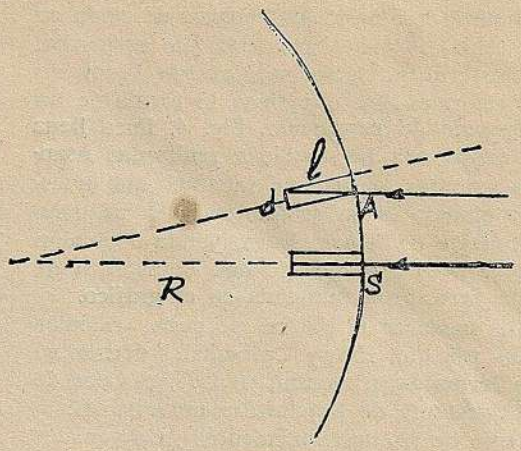


Fig. 3

Es decir, la longitud del arco AS es a la longitud de la circunferencia del meridiano de la Tierra, 2 π R, como el ángulo (a) en el centro es al ángulo de 360° que corresponde a toda la longitud de la circunferencia del meridiano.

En esta expresión se desconoce sólo R, radio del meridiano terrestre, cuyo valor es:

$$R = \frac{AS \cdot 360^\circ}{2\pi (a)}$$

Así halló el valor del radio R de la Tierra con un error de 1% con respecto a los valores actuales. Los griegos unos 300 años antes de nuestra era sabían que la Tierra era esférica; sin embargo, Cristóbal Colón en 1490, hacía enormes esfuerzos para convencer a los reyes de Europa que la Tierra era redonda y que se podía hacer un viaje

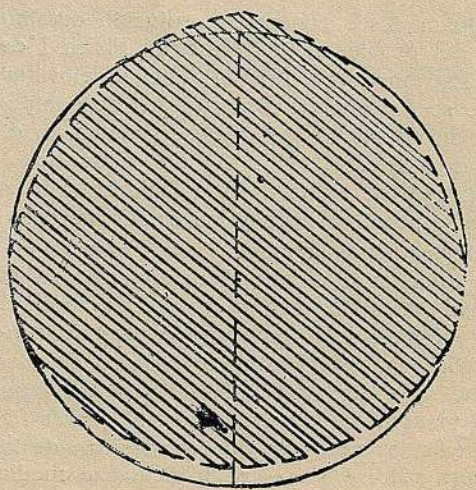


Fig. 4

en torno a ella sin los peligros de caída en el vacío, es que el conocimiento se perdió.

Posteriormente se halló que la Tierra no es esférica, sino que tiene la forma de un elipsoide de revolución, Fig. 4, línea llena y ahora con las medidas realizadas usando satélites artificiales sabemos que nuestro planeta es un geoide, con una pequeña elevación en el polo Norte y una depresión en el polo Sur, que le dan el aspecto de una pera, línea punteada en el gráfico.

La masa de la Tierra se pudo calcular una vez que Henry Cavendish determinó en forma experimental, en 1978, el valor de la constante de gravitación universal G.

Uno de los descubrimientos más geniales fue el de la Ley de Gravitación Universal, por Sir Isaac Newton (1642-1727). Esta ley establece que entre dos cuerpos cualesquiera de masas M y m hay una fuerza de atracción mútua F, que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, como se muestra en la Fig. 5, lo anterior se expresa matemáticamente así:

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2} \quad (1)$$

Para determinar la masa M de la Tierra se toma un cuerpo de masa m conocida, por ejemplo la masa del Kg. que está en la superficie de la Tierra, entonces r es el radio de la Tierra y F es el peso del cuerpo, en este caso 1 kilo fuerza o peso y como G se conoce, la única incógnita en la expresión (1) es M, la masa de la Tierra, cuyo valor es:

$$M = 5.98 \times 10^{24} Kg.$$

Quien desee conocer la solución detallada del problema, lo hallará en Física I de G. Estremadoyro, Pág. 61. Este es el valor que se ha tomado como unidad de comparación de las masas de los planetas en el cuadro del final. La Ley de Gravitación Universal de Newton ¡es la balanza con la que se pesó la Tierra y los demás astros!

Determinada la masa de la Tierra se pudo calcular su densidad media, esto es la masa promedio contenida en cada unidad de volumen, mide entonces los gramos contenidos en cada centímetro cúbico de planeta, para esto basta dividir la masa total del planeta entre su volumen, el que es fácil calcular sabiendo que el volumen de la esfera vale: $4/3 \cdot \pi r^3$, la densidad media terrestre es de 5.5 gr/cm³. Este valor es

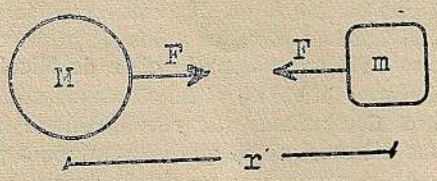


Fig. 5

bien alto si se le compara con las densidades de las rocas, las más densas llegan a 2.8 gr/cm³. Se pensó entonces, que la Tierra debe tener un núcleo muy denso metálico.

El interior de la Tierra se conoce ahora gracias al estudio de la forma cómo se propagan las ondas sísmicas en su interior. Cuando las ondas encuentran un material muy denso se reflejan y cuando pasan de un material denso a otro de diferente densidad se refractan, como se muestra en la Fig. 6. Así se ha llegado a la conclusión de que la Tierra tiene un núcleo de unos 3,470 Km. de radio, compuesto de fierro (Fe) y (Ni), principalmente y a una temperatura que se calcula en unos 5,000ºC, tiene dos partes, una interior más densa y otra exterior de menor densidad, la presión debe llegar a 1.4 millones de atmósferas. La atmósfera es la presión atmosférica al nivel del mar.

Encima del núcleo está el manto, con espesor de unos 2,870 Km., constituído principalmente por magma o roca fundida que aflora a través de los volcanes.

La parte más externa es la corteza con espesor de unos 38 Km. en los continentes y unso 28 Km. bajo el fondo de los océanos, lo que nos da los 6,378 Km. que mide el radio de la Tierra.

La edad de la Tierra se ha calculado determinando la vida media de ciertas sustancias radiactivas, es decir el tiempo que toma la mitad de la masa de uno de estos cuerpos en transformarse en otro no radiactivo, estable como el plomo (Pb) y midiendo la cantidad actual de cuerpo radiactivo y el depósito no radiactivo, asi se calcula que la edad de la Tierra es de unos 4,600 millones de años. que también debe ser la de todos los planetas y satélites del Sistema Solar.

Los cuerpos más abunantes en la Tierra y en orden a su mayor abundancia son: Oxígeno 46.6%, Sílice (Si) 27.7%, Aluminio (Al) 8.1%, Fe 5%, Calcio (Ca) 3.6%, Sodio (Na) 2.9%, Potasio (K) 2.6%, Magnesio (Mg) 2.1%, el 1.4% restante corresponde a

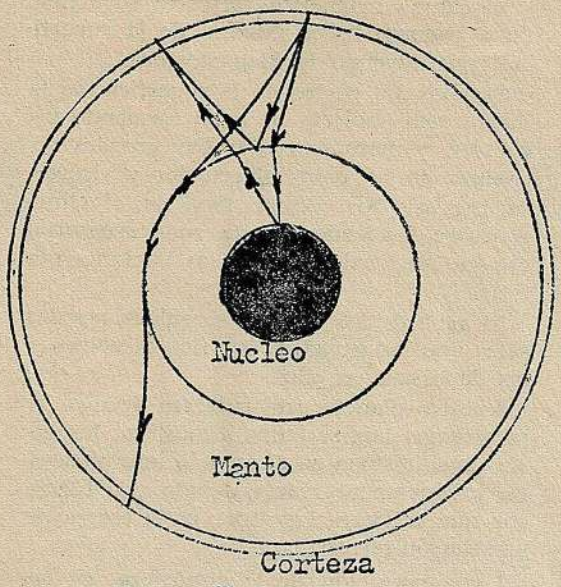


Fig. 6

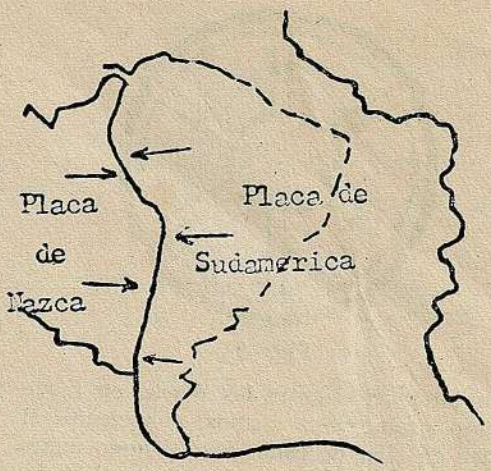


Fig. 7

los otros elementos. El O se encuentra principalmente formando los compuestos oxigenados.

El científico alemán Alfred Wegener, en 1912 expuso su teoría de que los continentes derivan moviéndose continuamente lo que se ha comprobado con observaciones y medidas realizadas con satélites artificiales y equipos instalados en la Luna, se ha medido la velocidad con que se mueven las placas tectónicas, ahora sabemos que Sudamérica se mueve hacia el Oeste con velocidad de 2.8 cm. por año, chocando contra la placa de Nazca que está en el Océano Pacífico Fig. 7. Este movimiento se realiza con enorme fricción entre las placas, como consecuencia se forma una enorme arruga que es la Cordillera de los Andes, que cruza Sudamérica en toda su extensión de S a N. No es raro entonces hallar fósiles marinos en las altas cumbres de la cordillera, ya que estos terrenos, hace millones de años, formaban el zócalo continental. Debido a esta interacción entre las placas tectónicas se han originado profundas fosas oceánicas en las zonas frontales. Así en el caso de las placas de Sudamérica y Nazca, esta última penetra bajo la primera, como se aprecia en la Fig. 8, produciendo frente a Sudamérica una profunda fosa.

Gracias al trabajo aunado de las marinas mercantes y las de guerra de todas las naciones del globo se ha levantado el mapa del fondo de todos los océanos. Uno de los descubrimientos de mayor importancia fue el hallazgo de enormes brechas por las que aflora lentamente la roca fluida del manto que se deposita a ambos lados formando zonas de pequeña elevación cadenas de montañas pequeñas de enorme longitud, una de las mayores que se conocen, la del Océano Pacífico, por ejemplo, va prácticamente de polo a polo de la Tierra; estas brechas delimitan las placas tectónicas, así la placa de Nazca limita por el Oeste con una brecha o zona de aducción y por el Este limita con la placa de Sudamérica, penetrando bajo ella hasta el interior de la Tierra, donde el material se vuelve a fundir, es una zona de subducción.

El movimiento de las placas tectónicas se explica por las corrientes de convección que se producen en el manto fundido, como se ve en la Fig. 9. Las zonas de aducción corresponden a las corrientes ascendentes y las de subducción a las de descenso.

Fig. 8

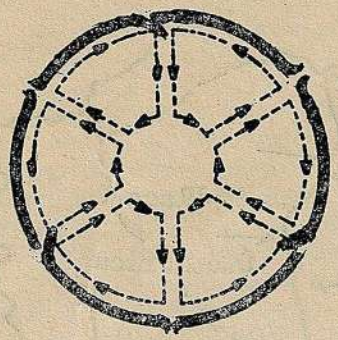


Fig. 9

La interacción entre las placas en movimiento produce los sismos, conociendo el origen de ellos se están investigando métodos para predecir los terremotos, ojalá ésto sea realidad pronto y que nunca más tengamos una desgracia como la de 1970 en el Callejón de Huaylas.

La Tierra se comporta como un inmenso imán, por esto las agujas magnéticas o brújulas, se orientan señalando siempre la dirección N-S. Esta idea fue expresada por primera vez por el científico inlgés William Gilbert en 1600 en su obra De Magnete, en la que se presentó el primer estudio del Magnetsimo Terrestre. Los polos magnéticos están cerca de los geográficos de la Tierra.

Estudios de las rocas de las zonas de aducción bajo los acéanos. han demostrado que el campo magnético terrestre no es constante sino variable, incluso han habido épocas en que el campo magnético ha tenido dirección contraria a la actual. La última vez que el campo magnético terrestre cambió completamente de dirección fue hace unos 7 mil años.

Se piensa que el campo magnético terrestre se origina por las intensas corrientes eléctricas que deben circular en el núcleo fundido de la Tierra, debido a las corrientes de convección en el material metálico ionizado que lo forman. Toda corriente eléctrica genera un campo magnético asociado (Física II, G. Estremadoyro, pág. 199). Esta creencia se basa en los hechos siguientes: las intensas corrientes de gases ionizados en el Sol producen los campos magnéticos asociados a las manchas solares. Las corrientes de gases ionizados en el espacio interplanetario produce asimismo pequeños campos magnéticos. Las corrienees de partículas ionizadas en la alta atmósfera terrestre ,tienen igualmente su propio campo magnético.

El campo magnético terrestre se extiende a regiones miles de Km. de la superficie constituyendo la Magnetósfera.

Casi las 3/4 partes de la superficie de la Tierra está cubierta de agua formando los océanos y mares, en ellos hay grandes corrientes de los polos al ecuador y viceversa, por esto los océanos moderan el clima terrestre, haciendo que la zona ecuatorial no sea muy calurosa ni las polares tan frías.

El agua de los océanos es salada por las sales que las aguas de los ríos disuelven y las depositan en ellos.

Nuestro planeta está cubierto de una capa gaseosa que se llama atmósfera, los gases no se disipan en el espacio interplanetario prácticamente vacío, debido a la fuerza con que la Tierra los atrae, es la fuerza de gravitación terrestre.

La composición de la atmósfera, en las zonas más bajas es: nitrgeno (N) 78%, O 21%, Argón (Ar) 1%, además contiene trazas de CO^2 y vapor de agua que constituye la humedad atmosférica.

El peso de la atmósfera produce lo que llamamos presión atmosférica que al nivel del mar es de 1 atmósfera o torricelli y vale 1 Kg/cm^2, esta es una presión alta, pues en nuestras cabezas produce una fuerza de unos 30 Kg.

La densidad del aire va disminuyendo conforme vamos elevándonos sobre el nivel del mar, a unos 5,500 m. de alto, la mitad de la atmósfera queda bajo nuestros pies. La capa más baja de la atmósfera, la Tropósfera, llega a 16 Km. de alto, en el ecuador; en ella se forman las nubes, los vientos, lluvias, tormentas, huracanes y todos los fenómenos climatológicos.

Encima está la estratósfera, que llega a unos 80 Km. de alto, luego la ionósfera o zona en la que los gases, en su mayor parte, están ionizados, o sea sin sus electrones orbitales que han sido arrancados por la energía de la radiación solar de pequeña longitud de onda, ultravioleta y gamma. En esta capa las ondas de radio rebotan y vuelven a tierra haciendo posible las comunicaciones radiales entre lugares muy distantes, por ello podemos captar estaciones de radio de Australia, China, Rusia, etc.

Cuando se producen grandes protuberancias en el Sol nos llega una lluvia de partículas atómicas que interaccionan con el campo magnético terrestre produciendo tormentas magnéticas que interfieren las co-

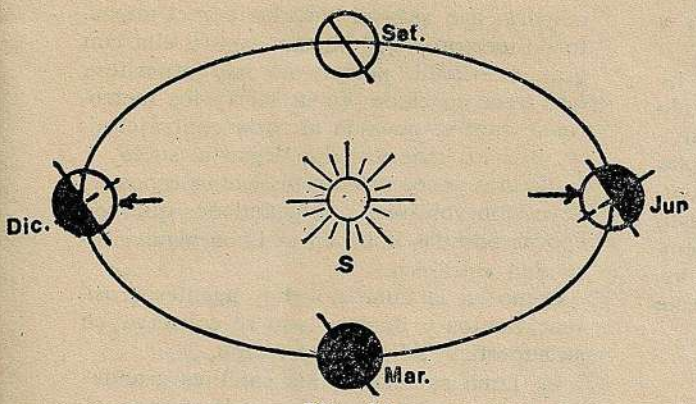


Fig. 10

municaciones radiales llegando, a veces a bloquearlas. Para evitar estas interrupciones en las comunicaciones se usan ahora los satélites de comunicaciones.

La Tierra gira en torno a su eje en un día, el eje de la Tierra, que pasa por los polos N y S, no es perpendicular al plano de su órbita sino es inclinado, Fig. 10. Al girar la Tierra en torno al Sol ,su eje permanece inclinado en la misma dirección, es decir permanece paralelo asi mismo. Esto hace que en diciembre los rayos solares lleguen perpendicularmente al hemisferio S de la Tierra, entonces hay gran concentración de calor. Además, debido a la inclinación del eje de la Tierra, los días son largos y las noches cortas, Fig. 11a, en cambio en el hemisferio N los rayos solares llegan inclinados. hay pequeña concentración de calor y además las noches son largas y los días cortos.

Por último, cuando los rayos solares llegan normalmente, atraviesan pequeño espesor de atmósfera y cuando llegan inclinados tienen que atravesar un espesor mayor, Fig. 12. Todas estas condiciones: días largos, rayos perpendiculares y pequeño espesor de atmósfera, se aunan para que sea verano en el hemisferio S. En cambio en el hemisferio N los días son cortos, las noches largas y hay pequeña concentración de calor porque los rayos del Sol llegan inclinados y atraveisan gran espesor de atmósfera produciendo el invierno. Estas condiciones se invierten 6 meses después en junio, como el eje de la Tierra sigue paralelo ahora los rayos solares llegan normales al hemisferio N, los días son largos y hay gran concentración de calor, es verano, los rayos llegan inclinados al hemisferio S, hay pequeña concentración de rayos de Sol y los días son cortos, trayendo como consecuencia que sean invierno en este hemisferio. Fig. 11b.

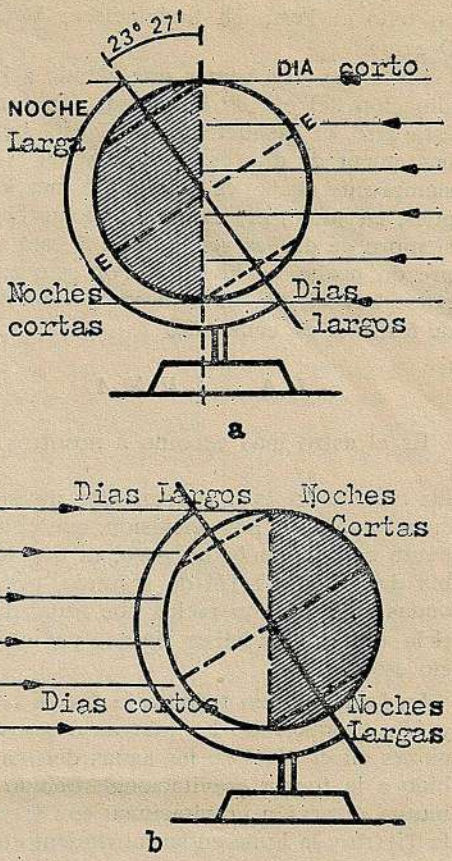


Fig. 11

En las posiciones intermedias, marzo y setiembre, los días y las noches son iguales, equinoccios, equi gual, noccio, noche, no hace mucho calor ni mucho frío se producen el otoño y la primavera en el hemisferio S y al revés en el N. Las estaciones son contrarias para los hemisferios N y S, pero es una sola estación para todo un hemisferio. Cuando es verano en Lima, lo es

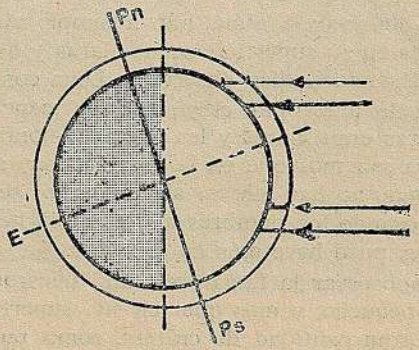


Fig. 12

en todo el Perú, en Sudamérica, Africa y Oceanía.

En la Fig. 11a, vemos que debido a la inclinación del eje de la Tierra, aún cuando ésta gire, el casquete polar S está permanentement de día, es verano y el N está siempre de noche, es invierno, 6 meses después, en junio, el casquete polar N está siempre de día, es verano y el S está siempre de noche, es invierno. Por esto en los polos hay un día de 6 meses y una noche de 6 meses en cada año.

LA LUNA

Es el astro mas cercano a nosotros, su luz recorre en 1s y cuarto, de modo que cuando veíamos por televisión, que el astronauta estaba dando un paso, es que lo había dado hacia 1 1/4 de segundo, pero las ondas de televisión recién nos traían la noticia, después de haber viajado por el espacio este tiempo.

La Luna gira en torno a la Tierra en 29d y 12h, produciendo las mareas o sea variaciones en el nivel de las aguas del mar debido a la fuerza gravitacional. Debido a la mutua atracción gravitacional son frenadas la Tierra y la Luna en su movimiento de rotación; por ello el movimiento de rotación de la Luna está sincronizado con su movimiento de traslación, ambos se producen en el mismo tiempo y entonces la Luna nos presenta siempre la misma cara; sin embargo, ahora conocemos el hemisferio que nunca nos presenta la Luna gracias a las sondas lunares, la Lunik 3, en 1959, tomó las primeras fotos del hemisferio opuesto selenita, que nunca vemos.

Debido a la interacción gravitacional entre la Tierra y la Luna el día terrestre va siendo más largo, a razón de 1 milisegundo por siglo.

Al observar la Luna, aún a simple vista, vemos en su superficie zonas claras y oscuras. Cuando Galileo observó la Luna con su pequeño telescopio, creyó que las manchas oscuras eran mares y les puso ese nombre, ahora sabemos que en la Luna no hay aire ni agua, no hay mares; sin embargo; se sigue usando los nombres que el sabio italiano les puso hace más de 350 años.

Al observar la Luna con un telescopio, aún pequeño, vemos que en su superficie hay gran cantidad de cráters, como puede observarse en la lámina, éstos, en su gran mayoría han sido producidos por el impacto de meteoros que chocan contra ella con gran velocidad, porque no hay atmósfera que frene su caída; en la Tierra los meteoros al caer se queman al rozar contra el aire, sólo los más grandes llegan al suelo.

Algunos pocos cráters presentan conos de deyección volcánica, indicándonos que en épocas pasadas hubo en la Luna alguna actividad volcánica.

Como en la Luna no hay agentes erosivos: vientos y lluvias, todo se conserva en su superficie tal como se formó.

La Luna es uno de los satélites grandes del Sistema Solar; en la tabla damos algunas de sus características principales, su densidad promedio es apenas un poco menor que la de Marte, la aceleración de la gravedad es apenas 1/6 la terrestre, debido a su pequeña masa que es de 1/81 la terrestre, por esto los cuerpos pesan allá la sexta parte de lo que pesan en la Tierra; un astronauta que pese 80 Kg. allá pesa sólo 13, al caminar con la fuerza que lo hace aquí daría pasos de unos 4 m., por ello lleva zuelas de plomo y camina con mucho cuidado para no caerse.

Como la aceleración lunar es tan pequeña, la velocidad de escape también lo es, apenas 2.38 Km./s, por esto no ha podido conservar una envoltura gaseosa y carece de atmósfera.

El hombre llegó a la Luna en julio de 1969, la hazaña la realiaron los astronautas norteamericanos Neil Armstrong y Edwin Aldrin, mientras Michel Collins se quedó en órbita lunar. Posteriormente llegaron a la Luna las Apolo 12, 14, 15, 16 y 17, cada una llevó 2 astronautas, quienes recogieron muestras lunares exploraron la superficie selenita e instalaron equipos e instrumentos destinados a estudiar la Luna, la Tierra, el Sol y el cosmos en general. Gracias a estas misones conocemos mucho mejor nuestro satélite y con los datos traídos se están estudiando muchos problemas que poco a poco se van resolviendo.

La Luna carece de aire y agua por lo que su superficie tiene el aspecto de un enorme desierto, sabemos que no hay vida y no la ha habido nunca.

Los astronautas de los vuelos Apolo, han traído más de 300 Kg. de muestras lunares que los EE. UU. proporcionó a más de 140 laboratorios de diversas naciones para su estudio y análisis, hallando que la Luna tiene los mismos materiales que la Tierra aún cuando en diferentes proporciones, allá los

elementos más abundantes son el azufre (S), el titanio (Ti), magnesio (Mg), Fe, Ca y manganeso (Mn). Son menos abundantes que en la Tierra el Si, aluminio (Al), el Ni, el Pb, el Na y los mtales cobre (Cu), oro (Au), plata (Ag) y zinc (Zn).

Las muestras indican que la Luna se formó al mismo tiempo que la Tierra y todo el Sistema Solar, hace unos 4,600 millones de años.

El pueblo de los EE. UU. ha obsequiado a cada uno de los países americanos dos muestras lunares, cada una montada en una esfera de plástico de unos 5 cm. de diámetro. La muestra que a veces se exhibe en el Planetario de Chorrillos, gracias a la gentileza del Concejo Provincial de Lima, es la que recibió el entonces alcalde Ing. Eduardo Dibós, tiene una placa con la leyenda siguiente:

Este fragmento es una porción de una roca del valle Taurus Litrow de la Luna.

Se obsequia como símbolo de la unidad del esfuerzo humano y lleva con él la esperanza del pueblo americano por un mundo de paz.

Junto con la muestra lunar, hay una bandera peruana de unos 10 x 15 cm. con la siguiente leyenda:

Esta bandera fue llevada hasta la Luna y retornada a la Tierra por la Apolo XVII, en diciembre 7—19 de 1972. Obsequiada al pueblo del Perú por el pueblo de los Estados Unidos de N. A.

Richard Nixon
1973

Todo el conjunto está montado en un tablero de madera y las leyendas grabadas en placas metálicas, en inglés. La muestra lunar que se exhibe a veces en el Planetario de la Asociación Peruana de Astronomía, fue entregada por el astronauta Harrison Schmidt en su visita a Lima en 1974 al Ing. Eduardo Dibós, entonces alcalde de la ciudad, la otra la entregó al entonces Jefe de la Junta Militar de Gobierno, General Juan Velasco Alvarado.

Cuando observamos la Luna, notamos que su forma y tamaño varían, es el fenómeno denominado *Fases de la Luna*. A veces la Luna está al mismo lado que el Sol, a la derecha en la lámina, está en conjunción, y la Luna nos presenta su hemisferio oscuro, de noche, entonces no la podemos ver, es *Luna Nueva*. Conforme gira en torno a la Tierra, en sentido contrario a las agujas del reloj, si la vemos desde el N, desde la Tierra comenzamos a ver una pequeña porción de la zona iluminada, decimos que la Luna va creciendo. Cuando la Luna está en la parte superior del cuadro, está en cuadratura, desde la Tierra podemos ver sólo la mitad del hemisferio iluminado o sea la cuarta parte de la Luna, es *Cuarto Creciente*. Conforme la Luna sigue en su movimiento de traslación, desde la Tierra vamos viendo más del hemisferio iluminado, decimos que la Luna sigue creciendo.

Cuando la Luna está al lado opuesto al Sol, en oposición, vemos todo el hemisferio iluminado, es *Luna Llena*. Posteriormente vemos menos de todo el hemisferio iluminado, la Luna comienza a decrecer, cuando la Luna está en cuadratura inferior, sólo vemos la mitad del hemisferio iluminado, es

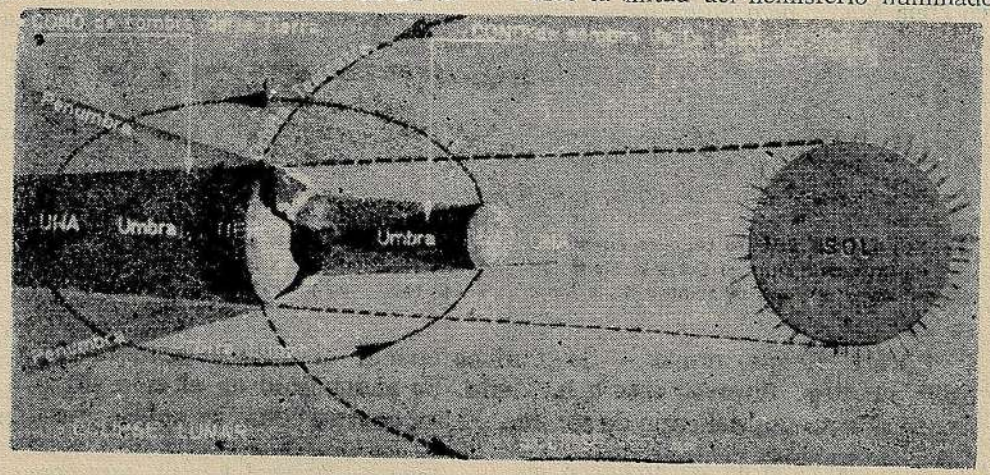


Fig. 13

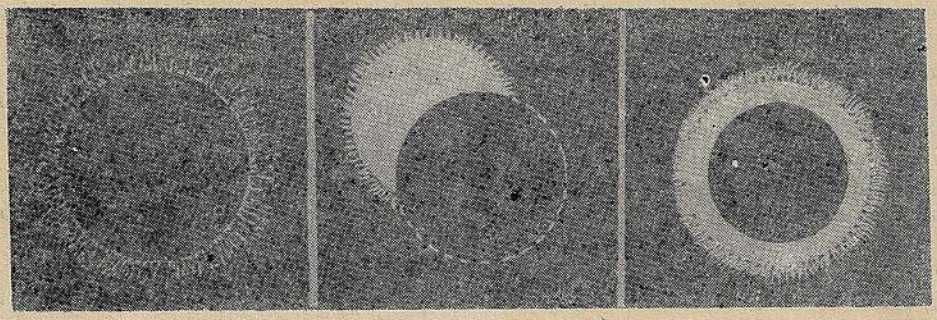


Fig. 14

Cuarto Menguante. Al seguir girando vemos sólo una franjita del hemisferio iluminado y cuando está al mismo lado que el Sol no la podemos ver, es *Luna Nueva.*

A veces la Tierra, la Luna y el Sol estan en una misma recta entonces la Luna tapa al Sol y se produce un eclipse de Sol, Fig. 13. Cuando el cono de sombra de la Luna llega hasta la Tierra en la región en sombra se tiene un eclipse total de Sol, al girar la Tierra sobre su eje, la zona de eclipse total barre una franja pequeña, sólo desde ella se puede observar el eclipse total. Las zonas fuera de la sombra o umbra, ven sólo una parte del Sol, es la zona de penumbra, ven un eclipse parcial de Sol, Fig. 14, otras veces la Luna está tan lejos que su sombra no llega hasta la Tierra, la Luna aparece tapando únicamente la parte central del Sol, es un eclipse anular. Los eclipses de Sol se producen cuando la Luna está al mismo lado que el Sol, en conjunción o en Luna Nueva, pero no en todas las Lunas Nuevas hay eclipse de Sol porque el plano de la órbita de la Luna es inclinado con respecto al de la Tierra.

Otras veces la Luna entra en el cono de sombra de la Tierra, Fig. 13, se produce un eclipse de Luna, el que se puede observar desde todo el hemisferio que está de noche, por esto los eclipses de Luna son más fáciles de observar que los de Sol. Los eclipses de Luna se producen cuando está al otro lado del Sol, en Luna Llena, pero por la razón ya indicada no en todas las Lunas Llenas se produce eclipse. Para que se produzca eclipse de Sol o Luna, es necesario que el Sol, la Tierra y la Luna estén en una línea recta, que es la de los nodos en que los planos de las órbitas de la Tierra y la Luna se cruzan.

M A R T E

Como vemos en la lámina del Sistema Solar, este planeta ocupa el 4º lugar, en distancia al Sol, notamos en la tabla que ésta es casi 228 millones de Km., esto es un poco más de vez y media la distancia Tierra Solo Unidad Astronómica.

Gira en torno a su eje en unas 24h, su dia es casi igual que el nuestro. Gira en torno al Sol en casi 2 años, y como su eje de giro es inclinado, como el de la Tierra, en Marte también hay estaciones que duran el doble que las nuestras. Por esto con buenos telescopios se observa que en el hemisferio en invierno hay casquete polar que desaparece en el verano. Con el cambio de las estaciones varía el color de la zona ecuatorial marciana. No se sabe aun el porque.

El diámetro de este planeta es casi mitad del terrestre, su masa es apenas 11/100 de la terrestre y la aceleración gravitacional es poco más de 1/3 la terrestre, allá una persona pesa 1/3 de lo que pesa aquí. Debido a esto su atmósfera es muy poco densa. Debido a su distancia al Sol recibe menos de la mitad de la radiación solar que a nosotros nos llega, por lo que Marte es mucho más frío que la Tierra.

Con telescopios medianos pueden observarse nubes de polvo en la atmósfera marciana, grandes tormentas que llegan a envolverlo íntegramente.

En 1788, el astrónomo italiano Juan Schiaparelli informó que había observado en la superficie marciana líneas que podían ser enormes canales destinados a irrigar los grandes desiertos marcianos, esto despertó el interés que ha provocado siempre este planeta. Percival Lowell, astrónomo norteamericano, construyó un observatorio en Arizona. EE. UU. dedicado al estudio de es-

te interesante planeta, él pensaba que en Marte habían seres vivos incluso inteligentes, idea que ha habido hasta hace poco.

Debido a su color rojizo el planeta recibió el nombre del Dios de la guerra. Tiene dos pequeños satélites que fueron descubiertos por el astrónomo norteamericano Asaph Hall, que recibieron los nombres de Fobos y Deimos que significaban miedo y pánico, respectivamente, dos compañeros muy adecuados para el Dios de la guerra.

Los canales y los cambios de color de la superficie de Marte hicieron pensar que era muy posible la existencia de seres vivos, por lo menos los más simples y primitivos.

Para estudiar más profundamente el planeta. científicos norteamericanos y rusos lanzaron sondas interplantarias, las que más éxito tuviero son las norteamericanas Mariner 4 y 9, la primera pasó cerca de Marte, en julio de 1965 envió 21 fotografías que mostraban el suelo marciano con gran nitides. La Mariner 9 entró en órbita en torno al planeta con altura mínima de 1,250 Km, en noviembre de 1971, entonces Marte estaba cubierto por una enorme nube de polvo producida por una gigantesca tormenta, con vientos de hasta 250 Km/h, envió 7,329 fotos con muy alta resolucin y nitides analizó su alta atmósfera hallando que tiene ionósfera constituida por iones CO^+ y O^+, carece de campo magnético, analizó las nubes altas y captó magníficas fotografías de sus dos satélites.

En las fotos se podían ver valles enormes, el más grande el Valle Marineris, con unos 2,700 Km. de largo y 500 Km. de ancho, en algunas zonas, se captaron muestras inequívocas de antiguas corrientes de agua, lo que hizo pensar a los científicos que quizás podrían hallarse seres vivos o restos de ellos. Para verificar estas creencias, científicos de la NASA (National Astronautics and Space Administration, esto es Administración Nacional del Espacio y Astronáutica) de los EE. UU. lanzaron dos sondas Vikingo. La primera amartizó suavemente el 19 de julio de 1976, la segunda lo hizo el 20 de agosto del mismo año, analizaron la atmósfera del planeta y tomaron muestras del suelo. Ambas se hicieron llegar en el hemisferio N que estaba en verano y a unos 2,200 Km. de distancia entre ellas. Los resultados de sus análisis son los siguientes: la atmósfera está constituida principalmente por CO^2 formando el 95%, 1% de argón (Ar), trazas le CO y O^2, oxígeno molecular; la presión promedio en la superficie es de 6 milibares (mb), en la Tierra al nivel del mar es de 1,030 mb, la densidad del aire en Marte es semejante a la del vacío que produce una máquina neumática en un laboratorio de Física. La cantidad de vapor de agua es de sólo 0.01% y la de ozono (03) sólo una parte por millón. El vapor de agua que contuvo su atmósfera se disoció, bajo la acción de la radiación ultravioleta del Sol; como aqui en la Tierra, en O e hidrógeno (H), que Marte los pierde debido a su débil atracción gravitacional, algo de O se combina formando CO^2.

El material del suelo es volcánico, de color rojizo, debido a su contenido de compuestos de Fe.

Las temperaturas medidas en pleno verano eran: máxima —13°C y mínima —93°C, Marte resultó un planeta mucho más frío de lo que se pensaba, la temperatura mínima en el invierno fue de —183°C, entonces se forman nubes de CO^2. Las Vikingo determinaron que en los casquetes polares hay pequeñas cantidades de agua (H^2O), pero principalmente están formados por hielo seco CO^2 helado, este gas se hiela a —72°C; la temperatura de los casquetes polares es de unos —140°C.

Los análisis del suelo de Marte indicaron que no hay vida ni restos de ella, ni siquiera se hallaron restos de compuestos orgánicos, estas son las sustancias que constituyen los cuerpos de los seres vivos y por ende son sustancias alimenticias. Parece que en Marte no hay vida y que no la ha habido nunca.

A fines de la primavera, en el hemisferio S de Marte, se originan ,en las latitudes medias, pequeñas tormentas de polvo, que luego de unas semanas cubren grandes áreas de este hemisferio, luego se van propagando hacia el hemisferio N. cubriendo prácticamente todo el planeta, como cuando llagó la Mariner 9 en 1971. Posteriormente la tormenta gigante comienza a disminuír de intensidad, las partículas de polvo van cayendo y la atmósfera se va poniendo cada vez más transpartente, hasta que vuelve la calma. Para que toda esta dináámica pueda desarrollarse, la velocidad de los vientos debe ser del orden de 200 Km/h, la energía que provoca estas tormentas es la solar, como en el caso de las terrestres, allá juegan un papel preponderante las partículas de polvo, en la Tierra es la gotita de agua.

La superficie de Marte, como la de la Luna y Mercurio, presenta gran cantidad de

cráteres producidos por el impacto de meteoros y el hemisferio S tiene mayor densidad de cráteres que el N. Algunos son de origen volcánico y demuestran que ha habido actividad volcánica hasta épocas relativamente recientes. En las fotos de la Mariner 9 se halló un enorme cráter volcánico, posiblemente el más grande del Sistema Solar, es el Monte Olimpo con un diámetro de 600 Km. y una altura de 25 Km., recordamos que el monte más alto de la Tierra, el Everest tiene 9 Km. de alto.

Se calcula que la corteza marciana es de de unos 50 Km. de espesor compuesta principalmente de Al, Si y poco Mg. El manto rico en silicatos de Fe y Mg, debe estar a una temperatura mucho menor que el de la Tierra.

El núclo marciano se piensa que debe estar constituido por Fe metálico y sulfuro de Fe.

Satélites: Ya hemos dicho que Marte tiene dos satélites, Fobos, el más pequeño y cercano al planeta y Deimos el más grande y lejano, tienen forma irregular y lleno de cráteres producidos por impactos meteóricos, por ello se dice que tienen forma de papa. Sus dimensiones son: Fobos, eje mayor 27 Km. medio 21.4 Km. y menor 19.2 Km., con un volumen de 5,810 Km^3; Deimos, 15 Km. 12 Km. y 11 Km., respectivamente y 1,014 Km^3. El eje mayor está dirigido hacia Marte el medio es normal al primero y el menor normal a los dos anteriores; son astros muy pequeños y no se ven con pequeños telescopios.

La distancia de estos satélites a Marte es de 9370 Km. para Fobos que gira con un periodo de 7h39m. presentando al planeta la misma cara. La distancia de Deimos es de 23,520 Km., su período es de 1d 6h17m.

Ambos satélites están formados por material rocoso con densidad de unos 3 gr/cm^3, constituído, seguramente, por silicatos principalmente, su superficie está cubierta de polvo fino de material ígneo, producido por los violentos choques de los meteoros. Los dos satélites parecen tener la misma edad, que es la del Sistema Solar, unos 4,600 millones de años. Las características de sus órbitas demuestran que no han sido asteroides o planetoides capturados por Marte sino que siempre fueron satélites del planeta.

PLANETOIDES

Entre las órbitas de Marte y Júpiter hay una enorme separación, un enorme vacío cuyo valor lo podemos hallar restando las distancias de Júpiter y Marte al Sol, lo que da 3.679 UA; la Unidad Astronómica es la distancia media Tierra Sol, unos 149.6 mlilones de Km., es decir un ancho de casi 4 veces la distancia Tierra Sol, lo que llamó la atención de los astrónomos que pensaron que entre Marte y Júpietr debía haber otro planeta, algunos astrónomos comenzaron a escrutar esta región del espacio interplanetario y asi el primer día del pasado siglo el astrónomo siciliano Guiseppe Piazzi, descubrió el primer planetoide, el más grande Ceres. En 1802 descubrió Pallas y posteriormente muchos más.

En esta región giran en torno al Sol miles de planetas pequeños que se denominan planetoides o asteroides, están catalogados unos 3,000, pero hay muchos más y conforme se van mejorando los equipos y los procedimientos de observación se van descubriendo y catalogando otros más.

El mayor número de planetoides están más cerca de Marte que de Júpiter. El mayor de ellos Ceres, apenas tiene 955 Km. de diámetro, el segundo Pallas, sólo 560 Km. Seguramente tienen formas irregulares, como los satélites de Marte, lo que se debe a la pequeña fuerza gravitacional.

Por su composición, los planetoides son de dos tipos: los de composición de roca y Fe, que son los más grandes, hasta un mínimo de 100 Km. de diámetro que son los más cercanos a Marte, y los compuestos por condritas carbonáceas que son el 80%, eset material es el representativo de los primitivos que se formaron cuando la nebulosa, que dio origen al Sisema Solar, se comenzó a conglomerar; contienen abundante agua en varias combinaciones químicas. Estos son los planetoides que no han sufrido grandes choques y debido a su pequeña masa, su temperatura nunca ha sido muy alta, por lo que han conservado su constitución inicial. En cambio los formados por roca y Fe pueden ser restos de núcleos metálicos de astros más grandes que al aumentar su temperatura durante su formación, separaron los cuerpos metálicos pesados en el núcleo y los livianos en la superficie.

Los cuerpos que forman el cinturón de planetoides parecería ser el producto final de choques catastróficos entre astros, que los han roto en trozos pequeños. En cambio los planetoides más pequeños parecen for-

mados por material que nunca se llegó a conglomerar en un cuerpo grande.

Las sondas pionero 10 y 11 lanzadas para estudiar principalmente a Júpiter, atravesaron el cinturón de planetoides con todo éxito.

Los planetoides Eros e Icaro han sido estudiados con ecos de radar.

Las dimensiones de los planetoides son muy difíciles de medir; sin embargo, cuando alguno oculta una estrella se tiene una magnífica oportunidad para medirlo, asi se halló que Eros tiene apenas 7 x 19 x 30 Km.

Todos los planetoides giran en torno al Sol en el mismo sentido que el resto de los planetas, prácticamente están en el mismo plano que ellos; sin embargo, hay como unos 12 cuyas órbitas tienen inclinaciones de unos 25º y la de Betulia es de 52º de inclinacin. Su período de revolución en torno al Sol varía entre 3.5 y 6 años.

Sus órbitas. como las de los planetas, tienen pequeña excentricidad, pero algunos tienen órbitas bastante alargadas, Icaro tiene la órbita de mayor excentricidad, se acerca al Sol, en su perihelio, a una distancia menor que la de Mercurio. Es el que más se acerca a la Tierra, en 1968 pasó a sólo unos 7 millones de Km. Ahora hay proyectos para estudio de estos astros mediante cohetes que lleven equipos adecuados a sus cercanías.

Delante de Júpiter y tras él, en la misma órbita, giran en torno al Sol grupos chicos de pequeños planetoides que se llaman los Troyanos y tienen el mismo período que el planeta.

Algunos planetoides tienen órbitas muy alargadas casi semejantes a las de los cometas más cercanos al Sol, asi Hidalgo en su aeflio, se aleja del Sol más allá de Júpiter. Cuando un planetoide pasa cerca de un planeta sufre desviaciones en su movimiento, debido a la atracción gravitacional, midiendo el valor de ésta se puede determinar la masa del planeta, así se comprueban las masas de los planetas exteriores.

JUPITER

Es el planeta más grande, como apreciamos en la carátula y en la tabla del final, es más de 1,300 veces más voluminoso que la Tierra, pero sólo 318 veces más masivo, por éllo su densidad es menor que la terrestre; sin embargo, su masa es mayor que la de todos los demás planetas juntos.

Júpiter está a unas 5 veces, la distancia de la Tierra al Sol, por ello el tamaño del Sol visto desde él, es la quinta parte de lo que lo vemos nosotros, que es del tamaño de la yema del dedo meñique puesto del ojo a la distancia del brazo del observador. Recibe sólo 1/25 de la radiación solar que nos llega a nosotros.

A pesar de ser tan grande Júpiter gira en torno a su eje en sólo 9h50min. que es la duración de su día, su velocidad de rotación es bien alta y por esto presenta gran achatamiento polar: su diámetro ecuatorial es apreciablemente mayor que el polar Emplea 12 años en dar una vuelta al Sol.

Lo que vemos es la atmósfera que cubre al planeta, que ha sido muy bien estudiada por las sondas Pionero 10 y 11 de los EE.UU., que pasaron cerca de él en 1973 y 1974, respectivamente y determinaron que la atmósfera está constituída principalmente por hidrógeno (H) y helio (He) que son los cuerpos más abundantes también en el Sol, además hay pequeña cantidad de metano (CH_4) y amoníaco (NH_3). El H y el He son los gases más livianos, Júpiter los puede mantener en torno a él debido a su intensa atracción gravitacional.

La atmósfera tiene bandas claras y oscuras paralelas al ecuador, como se observa en la carátula, las sondas hallaron que las bandas claras son de gases más calientes que las oscuras. En su superficie se nota una mancha enorme, en la parte superior izquierda en el gráfico de la carátula, de color rojizo; apareció a comienzos del siglo pasado, las sondas hallaron que se trata de una enorme tormenta en la atmósfera joviana, tan grande que en ella caben 48 tierras, por eso dura tanto tiempo.

Conocidos la masa y el volumen del planeta, se deduce que debe tener un pequeño núcleo de dimensiones aún no bien determinadas constituido por Fe y silicatos, cubierto por capas de H en diversos estados: metálico, líquido y en las zonas más exteriores, gaseoso.

Júpiter está en proceso de enfriamiento, emite doble del calor que recibe del Sol, el que debe provenir principalmente del núcleo cuya temperatura se calcula en unos 30,000ºC; sin embargo, las zonas más exteriores de su atmósfera están a unos -100ºC.

Las Pionero descubrieron que el planeta tiene un intenso campo magnético, unas 10 veces más intenso que el de la Tierra, atrapa a las partículas ionizadas del viento so-

lar, tiene como la Tierra cinturones de radiación. Debido a esto emite ondas de radio muy parecidas a las emitidas por la Tierra.

Para estatudiar mejor las características de los grandes planetas, la NASA ha lanzado en 1977, las sondas Voyager, con equipos muy precisos.

Satélites: Júpiter tiene 14 satélites, el último requiere confirmación; sus características son:

Nombre	*Distancia Miles Km.*	*Período Días*
Amalthea	181.3	0.489
Io	421.6	1.769
Europa	670.9	3.551
Ganímedes	1070	7.155
Calisto	1880	16.689
Leda	11110	240
Himalia	11470	250.6
Lysithea	11710	260
Elara	11740	260 1
Ananke	20700	617
Carme	22350	692
Pasiphae	23300	735
Sinope	23700	758

Como vemos el sistema de Júpiter es un Sistema Solar en pequeño. Los 4 satélites más brillantes fueron descubiertos por Galileo en 1610, por lo que se llaman galileanos, son tan brillantes que en muy buenas condiciones se visibilidad pueden llegarse a ver a simple vista, con telescopios modestos se les puede captar perfectamente. Si se dibuja su posición con respecto al planeta, de cuarto en cuarto de hora, se apreciará nítidamente que giran en torno a Júpiter y habremos repetido el experimento de Galileo El Satélite más grande es Ganímedes, con 5,270 Km. de diámetro es más grande que Mercurio. Ha sido estudiado en 1974, por la Pionero 11, en las fotos enviadas se nota que su superficie es bien clara, es que está cubierto de hielo de metano y posiblemente algo de agua, el metano (CH^4) es el gas de los pantanos y el que produce los accidentes en las minas de carbón, es muy venenoso, se hiela a —180°C, que debe ser la temperatura aproximada de este satélite que tiene atmósfera constituida principalmente por CH^4 y amoníaco (NH^3).

El satélite Io está cubierto por una atmósfera de sodio (Na) que se alarga hacia adelante de él, en forma de plátano.

El estudio de los períodos de revolución de los satélites de Júpiter permitió al astrónomo danés Olaff Roemer, en 1670, medir por primera vez la velocidad con que se propaga la luz que es de 300,000 Km/s.

SATURNO

Hasta este planeta conoció el hombre desde la gran antigüedad debido a que reflejan suficiente luz solar para poder ser observados a simple vista. Presenta un color amarillento y es más brillante que muchas estrellas. Distan del Sol casi 10 veces más que la Tierra, recibe apenas 1/100 de la radiación solar que nos llega. Emplea caso 30 años en dar una vuelta al Sol.

Es el segundo planeta en tamaño, observado con telescopios presenta bandas claras y oscuras, como Júpiter, planeta con el que tiene gran semejanza incluso en su constitución interior. A pesar de su enorme tamaño gira en sólo 10h en torno a su eje, por ello tiene gran achatamiento polar. En la tabla vemos que su densidad es menor que la del agua, en la que entonces puede flotar. Al observársele con un buen telescopio. se aprecia que está rodeado de un enorme anillo, como vemos en la carátula, éste está formado por dos concéntricos. Ya James Clerk Maxwell (1831-1879), indicó que los anillos no podrían ser sólidos sino formados por partículas, estudios posteriores comprobaron que esto es asi, pues las estrellas se observan a través de ellos. Estudios de la reflexión de la luz y de su espectro demuestran que están formados por miles de millones de partículas, las que son de tamaños diversos aún no bien determinados pero deben ser de decenas de centímetros, las más grandes, cascajo grueso, fino, arena gruesa, fina polvo y cristalitos de hielo como enjambres de miriadas de pequeños satélites girando en torno al planeta, parece que gran parte de las partículas están cubiertas de hielo y por ello reflejan muy bien la luz. El ancho total de los anillos es de unos 270,000 Km.

No hay aún una buena explicación para la formación de los anillos, algunos científicos piensan que pudieron formarse por la condensación de la nebulosa primigenia en pequeñas partículas, en cambio otros creen que puede ser el producto de la pulverización de un satélite, hay quienes piensan que los anillos están aún en proceso de formación por el constante choque de partículas.

Al girar Saturno en torno al Sol, el plano de sus anillos varía de inclinación res-

pecto a la visual terrestre por lo que los astrónomos pueden observar las dos caras de los anillos, a veces su plano coincide con el de la visual y desaparecen debido a que tienen pequeño espesor que es de unos 25 Km., que a la distancia de más de mil millones de Km. que está de nostros, es despreciable.

Los dos anillos más brillantes están separados por una franja vacía oscura llamada división de Cassini, quien fue su descubridor.

Saturno, como Júpiter, emite más calor del que recibe del Sol, el calor emerge del interior por la atmósfera en la que hay intensas corrientes de convección, por lo que tiene bandas claras de gases calientes y oscuras de gases fríos.

Satélites: Saturno tiene 10 satélites, el más grande Titán, cuyo diámetro es de 5,800 Km. es más grande que Ganímedes, su temperatura debe ser aún más baja por que está más lejos del Sol. La atmósfera de Titán debe estar constituida principalmente por CH_4 y pequeñas cantidades de NH^3, amoníaco.

C H I R O N

El 1º de noviembre de 1977, el Dr. Charles Kowal del Observatorio Hale de California, halló un pequeño astro que se movía muy lentamente, lo que determinó comparando dos fotografías tomadas el 18 y 19 de setiembre en el Observatorio de Monte Palomar. Las placas se tomaron en búsqueda de nuevos asteroides del grupo de los Troyanos. El astro se había movido en el tiempo que transcurrió entre la toma de las fotos, su movimiento era sólo un poco más lento que el de los troyanos y un poco mayor que el de Urano, sugiriendo que se trata de un lejano planeta, ya que su imagen no tenía aspecto comentario.

Su distancia era de unas 13.8 UA, unos 2,065 millones de Km. del Sol, entonces el pequeño planeta gira en torno al Sol entre las órbitas de Saturno y Urano, como se aprecia en el cuadro del final de este folleto.

Se halló que el astro ya había sido fotografiado anteriormente, con esos datos se calculó mejor su órbita hallándose que daba una vuelta en torno al Sol en 57 años.

Aún no se ha determinado exactamente su diámetro, que se calcula en unos 1000 Km. La excentricidad de su órbita es mayor que la de todos los otros planetas, su valor es 0.38.

Las características de su órbita parecen indicar que se trata de un planeta, lo que tiene muy alta probabilidad ya que está en una zona que no corresponde a planetoides ni a cometas, lo que será confirmado en el futuro cercano.

U R A N O

Está muy lejos del Sol ,más de 19 veces la distancia de la Tierra, ya no se le puede observar a simple vista a pesar de ser el tercer planeta en tamaño. Fue descubierto accidentalmente el 13 de marzo de 1781, por el astrónomo William Herschel, quien hacía una observación celeste de rutina en la zona de la constelación de los Gemelos; halló un objeto pequeñito que se definía como un circulito brillante, pensó que se trataba de un cometa y lo observó durante algunas semanas. Meses después se realizó el cálculo de su órbita que resultó ser casi circular más allá de la de Saturno, se trataba obviamente de un planeta, asi se duplicó el tamaño del Sistema Solar hasta entonces conocido. Desde este planeta se ve el Sol casi 20 veces más pequeño que desde la Tierra.

Su movimiento de rotación en torno a su eje asi como el de sus satélites es en sentido contrario al de los demás planetas. Tarda unos 84 años en dar una vuelta al Sol y lo hace en el mismo sentido que todos los demás planetas. Su eje de rotación tiene 82º de inclinación, es decir que está casi en el plano de su órbita, por eso desde la Tierra se puede ver sus dos polos. Se piensa que la inclinación tan prounciada de su eje pudo haber sido producida por el choque con un planetesimal o meteoro que asimismo pudo traer como consecuencia la formación de sus satélites.

Algunos observadores han informado que en su superficie pueden notarse bandas muy débiles, lo que indicaría que tiene atmósfera densa, lo que queda confirmado por los cambios notables de su brillo.

Mediante análisis espectrales de su atmósfera se ha detectado la existencia de CH_4 y se presume que además debe haber H, He, y NH^3 que deben estar en la parte baja, por lo que no pueden detectarse. La atmósfera es bien clara, la luz del Sol penetra profundamente en ella antes de ser reflejada.

El 10 de marzo de 1977 se produjo la ocul-

tación de una estrella por Urano, 35 minutos antes de la ocultación se registró una disminución grande de la luminosidad de la estrella que no se debía al paso de una nube ni al desenfoque del instrumento, se registraron dos bajas más de la luminosidad de la estrella antes de ser eclipsada por Urano.

Después de la ocultación, la estrella volvió a sufrir disminuciones marcadas de su luminosidad ,en forma simétrica a las que sufrió antes de la ocultación, con lo que se comprobó que fueron producidas por anillos en torno a Urano.

El 19 de marzo de 1977, dos científicos hindúes del Instituto de Astrofísica de Bangalor, descubrieron el 6º satélite de Urano, que es el más cercano a él.

NEPTUNO

El descubrimiento de Neptuno es uno de los hechos más importantes de la Astronomía ya que comprobó que la Ley de Gravitación Universal, descubierta por el físico inglés Sir Isaac Newton, se cumple en todos los ámbitos del Sistema Solar.

Después que se descubrió Urano se calculó su órbita y su efemérides, esto es sus posiciones futuras, pero se halló que el planeta no ocuuaba las posiciones calculadas, el error era bastante grande por lo que se pensó que tras el planeta debería haber otro cuya atracción no se consideró en los cálculos y que producía los errores hallados.

En 1841, John Couch Adams, estudiante, recién graduado en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, realizó los cálculos matemáticos para ubicar el planeta responsable de las irregularidades en el movimiento de Urano, cuando comunicó sus resultados no fueron tomados en cuenta por los astrónomos ingleses. Envió sus resultados al Observatorio de Greenwich cuyo director no tuvo fe en los cálculos de un matemático tan joven y completamente desconocido.

Urbain Leverrier, en Francia, realizó el mismo trabajo sin saber de lo hecho por Adams y envió sus resultados al Observatorio de Berlín cuyo director era Johann Galle ,quien la noche del 23 de setiembre de 1845, al primer intento halló el nuevo planeta que estaba ubicado a menos de un grado de la posición predicha por Leverrier. Asi, el Real Observatorio Inglés perdió la brillante oportunidad de descubrir un nuevo planeta, que recibió el nombre del rey de los mares. El honor de la predicción de la posición de Neptuno es compartido por los matemáticos Adams y Leverrier que obtuvieron prácticamente los mismos valores.

Como vemos en la tabla, Neptuno está casi 30 veces más lejos del Sol que la Tierra, su órbita tiene muy pequeña excentricidad, es casi circular, emplea 165 años en dar una vuelta al Sol. Posteriormente se halló que gira en torno a su eje en 15.8h.

Estudios espectrales de su atmósfera demuestran que contiene CH_4 en abundancia. Asi como la de Urano, su atmósfera es muy transparente y se piensa que también debe contener NH_3, pero que no se manifiesta porque debido a la bajísima temperatura reinante las nubes de este cuerpo deben estar pegadas al suelo donde no pueden ser observadas.

Desde Neptuno se ve al Sol 30 veces más pequeño que en la Tierra, el calor que le llega es pquñísimo y por ello su temperatura se calcula en unos —200ºC.

El 10 de febrero de 1977 astrónomos del Observatorio Kitt Peak de Arizona indicaron haber observado nubes muy tenues en la atmósfera de Neptuno, lo que es la primera prueba concreta de que hay cambios atmosféricos en el lejano planeta que tendría una espesa capa de nubes.

El satélite más grande de Neptuno es Tritón que tiene un diámetro enorme, parece que fuera más grande que Titán, el satélite más grande de Saturno.

PLUTON

El astrónomo norteamericano Percival Lowell, a base de las irregularidades en el movimiento de Neptuno, calculó la posición del planeta que estaría más lejos y lo buscó, sin éxito, desde 1906 hasta 1916 en que murió.

En febrero de 1930, Clyde Thombaugh, comparando fotografías tomadas el 23 y el 29 de enero de ese año, halló un astro cuyo movimiento parecía el adecuado para un planeta má lejano que Neptuno, se hallaba unos 6º fuera de la posición predicha por Lowell, se le puso el nombre del Dios del averno.

Plutón tiene una órbita bien inclinada con respecto a la eclíptica y está cerca de 40 veces más lejos del Sol que la Tierra, por esto para el cielo de los tres planetas más lejanos, el Sol es sólo una estrella más, seguramente la más grande, pero nada más

que eso, en ellos entonces ya no hay día, siempre es de noche y por ello son sumamente fríos la cantidad de radiación solar que le llega es sólo 0.006 de la que recibimos en la Tierra.

Científicos de la Universidad de Hawaii halaron, en 1977, pruebas que la superficie del planeta está cubierta de hielo de CH_4, cuerpo que se hiela a —184°C.

Es un astro más pequeño que Mercurio y probablemente más pequeño que la Luna.

En una zona la órbita de Plutón se acerca más al Sol que la de Neptuno, sin embargo, no hay peligro de choque por la gran inclinación de las órbitas.

LOS COMETAS

Son astros espectaculares porque tienen una cola enorme, antiguamente se les observaba con gran temor porque se les creía mensajeros de desgracias y calamidades. El primer estudio serio realizado de estos astros fue el del astrónomo Tycho Brahe (1546—1601), quien observó con gran diligencia el cometa de 1577. Johannes Kepler, estrónomo alemán, quien descubrió las leyes que rigen el movimiento de los planetas, observó el cometa de 1607.

Newton, mediante su ley de Gravitación, halló que los cometas son astros que giran en torno al Sol en órbitas muy alargadas. Posteriormente Edmund Halley profundizó mucho más los estudios de Newton hallando que las órbitas de los cometas de 1531, 1607 y 1682 eran prácticamente la misma concluyendo que era de un solo cometa que tiene un período un poco mayor de 75 años y predijo que el cometa volvería a verse en 1759 como sucedió, recibió entonces el nombre de cometa Halley, su último paso fue en Mayo de 1910 y su próxima aparición será en febrero de 1986.

Como puede verse en la lámina, los cometas tienen 3 partes: el *núcleo* está constituído por un conglomerado de masas sólidas ,a veces es sólo un cuerpo enorme, que contiene alto porcentaje de hielo y agua, rocas y metales.

La cabellera o coma, es una pequeña nubecilla de gases muy ténues que se extienden miles de Km. en torno al núcleo. Los cometas más grandes se ven sólo cuando están a la distancia de Júpiter o Saturno, entonces ya reciben suficiente calor y algunos cuerpos se vaporizan formando la cabellera y el cometa tiene el aspecto de una nubecita.

La cola está formada por gases muy ténues, las estrellas se ven a través de ella; estudios espectrocópicos demuestran que en ellas hay carbono (C) los radicales oxhidrilo (OH), (CN), (NH), y (NH^2), disociados probablemente de las moléculas de CH_4, NH_3 y H^2O, brillan deido al fenómeno de fluorescencia producido por la radiación ultravioleta del Sol. La cola está dirigida siempre en dirección opuesta a la del Sol. En algunos cometas se ha observado una pequeña cola dirigida casi hacia el Sol, formada por gases muy ténues.

Las masas de los cometas son pequeñísimas comparadas con las de los planetas, su valor se cálcula por la influencia gravitacional de los planetas cuando pasa cerca de alguno, las masas de los cometas son del orden de cientos de millones de toneladas de rocas, en trozos, hielo y gases. Los gases de la zonas más distantes de la cola el cometa los pierde por lo que con el tiempo las aproximaciones del cometa van siendo cada vez menos espectaculares.

El choque de un cometa con la Tierra es un evento muy poco probable; sin embargo, en los miles de millones de años que tiene la Tierra es muy probable que haya ocurrido, si las partículas grandes del núcleo cayeran producirían un gran daño en la zona del choque donde se formaría un cráter de cientos de metros de diámetro. Algunos investigadores creen que el gran meteoro de 1908 fue el choque de un cometa en las estepas siberanas.

METEOROS

A veces vemos un rasgo luminoso en el cielo nocturno que luego desaparece, lo llamamos estrella fugaz, el fenómeno se debe a que un cuerpo pequeño cae rozando contra la atmósfera, por lo general se quema y desaparece debido a su pequeña masa. Si su masa es de cientos de gramos, el calor no llega a su centro, porque su caída es muy rápida, puede entonces llegar hasta el suelo. Cuando la masa es mayor, con mayor razón llega al suelo, el material que se recoge se denomina *meteorito,* cuando aún está en el espacio se llama *meteoro o meteoroide.*

La velocidad con que cae un meteoroide depende, si cae en dirección contraria a la que se traslada la Tierra o si se mueve en la misma dirección que la Tierra y llega como alcanzándola en su viaje.

La gran mayoría de los meteoroides son miembros del Sistema Solar porque si pro-

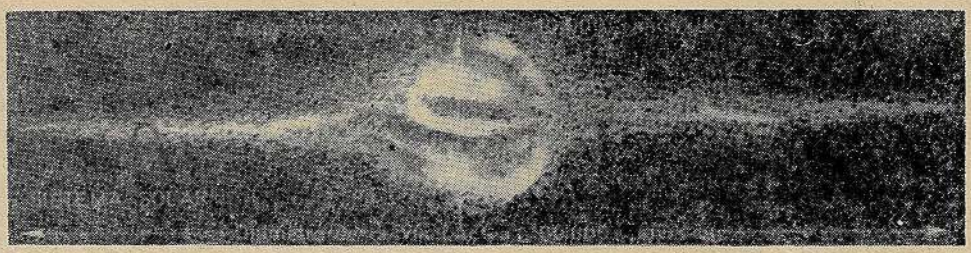


Fig. 15

vinieran de fuera sus órbitas serían muy diferentes a las observadas, sólo el 1% de los meteoroides observados parecen proceder de fuera de nuestro sistema.

En ocasiones se producen lluvias meteóricas, lo que ocurre cuando la Tierra encuentra enjambres de cuerpos en su órbita, se producen periódicamente y se predicen con gran aproximación.

La masa de los meteoroides se calcula por la luminosidad que tienen al caer, ellas oscilan mucho, entre 1/4 de gr. que son los más comunes o valores mucho mayores, pocos meteoritos tienen masas mayores de algunos gramos. La cantidad de meteoroides que caen a la Tierra se calcula en unas pocas toneladas al día.

Los meteoritos son de 3 tipos: 1) Siderítos, constituídos principalmente de Fe, el resto es generalmente Ni., niquel.

2) Siderolitos, formados por Fe y roca especialmente silicatos; al descomponerse la roca antes que el Fe se desintegra a la intemperie y deja trocitos de Fe, fierro.

3) Piedras o aerolitos compuestos principalmente de silicatos y otros materiales pétreos, éstos son los más comunes; sin embargo, se descomponen por agentes erosivos y entonces parecen rocas terrestres.

El meteorito más grande que hay en el Perú es el que se exhibe en el hall del Planetario de Chorrillos es un siderito de forma ovide cuyo peso es de 141 Kg. y densidad de 8 gr./cm^3, el 89% es Fe, 8.7% es Ni y el resto, cobalto (Co), cobre (Cu), O y otros elementos.

Además en el Sistema Solar hay cuerpos pequeñísimos de sólo micrones, es decir millonésimos de metro de diámetro que se denominan micrometeoritos. Su composición es de Fe, Silice y Magnesio principalmente.

Se les estudia mediante equipos especiales instalados en satélites artficiales. Se calcula que llegan a la Tierra entre 1 y 10,000 toneladas diarias.

Los meteoroides parece que se originan por la desintegración de cuerpos más grandes, como los cometas, otros parecen provenir de los planetas donde probablemente se originaron debido al choque de grandes meteoros.

LA GALAXIA

El Sol, con el conjunto de astros que giran en torno a él constituyendo lo que hemos denominado Sistema Solar, no está solo, aislado en el universo sino que junto con miles de millones de estrellas conforman un cuerpo enorme que es una GALAXIA, de modo que galaxia es un conjunto de miles de millones de estrellas todas las que se mueven girando en torno al centro o núcleo de la galaxia.

En la Fig. 15 se muestra un esquema de nuestra galaxia, la Vía Láctea vista de perfil. Vista la Vía Láctea en plano es una galaxia con brazos espirales, muy semejante a la Galaxia de Andrómeda que se muestra en la Fig. 16. En la Fig. 15 se indica la posición del Sol en la galaxia, no está cerca del centro o núcleo sino cerca de uno de los extremos, en uno de los brazos espirales.

El diámetro de la Vía Láctea es de unos 100 mil años luz, su espesor en el núcleo, que es la zona más abultada, es de unos 10 mil años luz. Dentro de este enorme espacio hay unos 150 mil millones de estrellas (15 seguido 10 ceros, 15 x 10^{10} estrellas) una cantidad inconcebiblemente grande de estrellas, una de esas estrellitas, que es un puntito luminoso, es nuestro Sol, que no es de las estrellas más grandes, no es una gigante, tampoco es una de las estrellas pequeñas o enanas, el Sol es una estrella intermedia más bien chica.

La Vía Láctea gira en torno a su centro y el Sol rota en torno al núcleo de la galaxia con una velocidad de unos 270 km/s. (muchísimo más rápido que los cohetes más

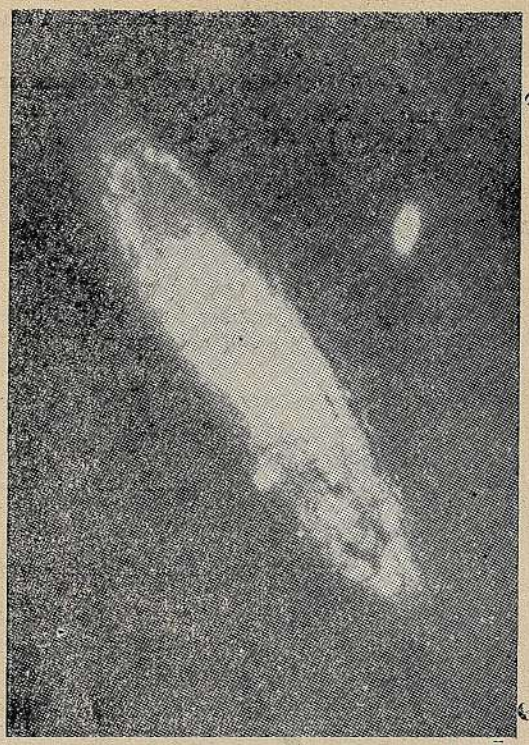


Fig. 16

veolces que se disparan actualmente) a esta velocidad el Sol demora 200 millones de años en dar una vuelta en torno al centro de la galaxia. El movimiento actual del Sol es hacia la constelación de Cigno.

Cuando observamos el cielo en una noche clara y despejada, sin la interferencia de las luces de la ciudad, observamos una zona de color lechoso como una nube enorme que cruza el cielo, es nuestra galaxia, que debido a este aspecto ha recibido el nombre de Vía Láctea, que aparece a simple vista como una nube enorme pero al observarla con un telescopio corriente, apreciamos que se trata no de una nube sino de un conjunto de innumerables estrellas, tantas que al aparecer tan juntas dan el aspecto de una nube, debido a estar constituidas por gran número de estrellas las galaxias toman el nombre de universos islas.

Se conocen unos 5 millones de galaxias, de modo que al observar el cielo con un buen telescopio vemos gran cantidad de galaxias que a su vez forman conjuntos o cúmulos galácticos.

Las galaxias más cercanas a la nuestra son dos irregulares o sin forma definida llamadas las Nubes de Magallanes que están al pie de la constelación de la Cruz del Sur, distan de nosotros unos 200 mil años luz, son satélites de la Vía Láctea. La galaxia espiral más cercana a nosotros es la de Andrómeda que está a unos 2 millones de años luz, lo que los astrónomos ven en esa galaxia es lo que sucedió hace 2 millones de años. Los telescopios más grandes captan imágenes de galaxias que están a unos 25 millones de años luz.

Y así llegamos a tener una pequeña idea de la inmensidad del universo, la maravillosa obra de Dios y pensemos entonces volviendo a nuestro Sistema, el Sol no es más que un puntito insignificante, con respecto a la galaxia, Si el Sol con el Sistema Solar desapareciera ¿cómo afectaría al resto de la galaxia? La respuesta es que se darían cuenta del hecho sólo quienes estuvieran a la distancia de las estrellas más cercanas, esto es a unos 4 años luz. Si desapareciera una estrella del cielo, lo que ha ocurrido ya en algunas ocasiones, sólo muy pocas personas lo notarían, fuera de los astrónomos que observan el cielo a diario.

Entonces, nuestro Sol es menos que un granito de polvo en el cosmos y nuestra Tierra con toda la humanidad, que es más de un millón de veces más pequeña que el Sol, es nada en el cosmos. El hombre en el universo es nada, si lo consideramos como materia simplemente, pero en esa nada hay algo muy valioso y que hace grande al hombre: es su espíritu, una de cuyas manifestaciones nos permite pensar y raciocinar, como lo hemos hecho a través de la lectura de este libro. Es pues un deber de todo hombre perfeccionarse espiritualmente, de lo contrario estamos en peligro de no valer absolutamente nada.

B I B L I O G R A F I A

El Sistema Solar, Biblioteca Salvat de Grandes Temas, Madrid, España.

Enciclopedia Labor, Astronomía. Barcelona, España.

Exploration of the Universe por George Abell 6ª Ed. Holt Rinehart and Wiston, New York, EE.UU.

Boletines de la Asociación Peruana de Astronomía, publicación semestral, Lima, Perú.

Scientific American, New York, revista científica mensual.

Sky and Telescope, New York, revista astronómica mensual.

Astronomy, New York, revista astronómica mensual.

La Recherche, París, revista científica mensual.

Science, New York, revista científica mensual.

Ciencia e Investigación, revista científica mensual, Madrid.

VOCABULARIO

Atomo.— Partícula más pequeña de un elemento que tiene las propiedades del mismo. Está formado por protones y neutrones en el núcleo y electrones orbitales que giran en torno al núcleo.

Astro.— Todo cuerpo que se encuentra en el cosmos.

Afelio.— Distancia máxima de un astro del Sistema Solar al Sol.

Averno.— Infierno.

Corrientes de convección.— Aquellas que se producen en los gases y los líquidos por diferncia de temperatura, los fluidos calientes suben y los fríos bajan.

Difusión de la luz.— Es la reflexión que sufre la luz al incidir en partículas pequeñas como las de polvo, gotitas de agua, neblina, etc.

Dina.— Fuerza que actuando sobre 1 gramo lo acelera a razón de 1 cm/s en cada segundo.

Electrón.— Partícula atómica con carga eléctrica negativa y masa muy pequeña que gira en torno al núcleo.

Energía radiante.— La que nos llega del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Espectroscopio.— Instrumento que sirve para estudiar el espectro de los cuerpos luminosos.

Espectro luminoso.— El que se obtiene cuando pasa la luz por un prisma.

Fluorescencia.— Propiedad por la que algunos cuerpos al recibir luz la reemiten con lonitud de onda más larga.

Fotosíntesis.— Proceso por el que las plantas, utilizando la energía solar, el agua y el bióxido de carbono de la atmósfera fabrican o sintetizan sustancias alimenticias.

Galaxia.— Conjunto de miles de millones de estrellas.

Grado Celcius.— O grado centígrado, centésima parte de la temperatura comprendida entre la de fusión del hielo, 0°C y la de ebullición del agua a 1 atmósfera de presión, 100°C.

Ion.— Atomo o molécula que por haber perdido o ganado electrones, tiene carga eléctrica.

Masa atómica.— Es la masa de un átomo en comparación con la del átomo de carbnoo que vale 12.

Milibar.— Presión que producen 1,000 dinas al actuar sobre 1 cm^2.

Molécula.— Conjunto de átomos que forman la partícula más pequeña de un cuerpo compuesto.

Neutrón.— Partícula del núcleo atómico sin carga eléctrica.

Ondas electromagnéticas.— Las producidas por oscilaciones de campos eléctrico y magnético.

Perihelio.— Distancia máxima al Sol de un astro del Sistema Solar.

Protón.— Partícula del núcleo del átomo con carga positiva.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS PLANETAS

	Mercurio	*Venus*	*Tierra*	*Marte*	*Júpiter*	*Saturno*	*Chirón*	*Urano*	*Neptuno*	*Plutón*
Distancia media al Sol, Millones Km.	57.9	108.2	149.6	227.9	778.3	1427	2065	2869.6	4496.6	5900
„ „ „ „ U.A.	0.387	723	1	1.524	5.203	9.539	13.8	19.26	30.06	39.6
„ „ luz, al Sol	3m 13s	6m	8m 19s	12m 39s	34m 14s	1h 19m 17s	1h 54m 43s	2h 39m 25s	4h 9m 49s	5h 27m 47s
Período de revolución.	88d	224.7d	365.26d	687d	11.86A	29.46A	57A	84.01A	164.8A	247.74
„ „ rotación	59d	—243d	23h 56m 23s	24h 37m 23	9h 50m	10h 14m		—11h	16h	6d 9h
Velocidad Orbital en Km/s	47.9	35	29.8	24.1	13.1	9.6		6.8	5.4	4.7
Inclinación del eje de rotación	< 28º	3°	23º 27'	23º59'	3º05'	26°44'		82º05'	28º48'	?
„ de la órbita con respecto a la eclíptica.	7º	3.4°	0º	1:9º	1.3º	2.5°	6.9º	8º	1.8°	17.2º
Excentricidad de la órbita	0.206	0.007	0.017	0.093	0.048	0.056	0.38	0.047	0.009	0.25
Masa, Tierra = 1	0.055	0.815	1	0.108	317.9	95.2		14.6	17.2	
Diámetro ecuatorial, Km.	4880	12104	12756	6787	142800	120000	1000 ?	51800	49500	3146
Volumen, Tierra = 1	0.06	0.88	1	0.15	1315	755		67	57	0.02
Densidad, agua = 1 gr/cm³	5.4	5.2	5.5	3.9	1.3	0.7		1.2	1.7	
Gravedad superficial, Tierra = 1	0.37	0.88	1	0.39	2.64	1.15		1.17	1.18	
Velocidad de escape, Km/s	4	10.4	11.2	4.8	59.2	35.2		20.8	22.4	
Principales componentes de la atmósfera	No tiene	Co_2,HCL H_2 504	N y O	CO_2 y Ar	H y He	H y He		H, He y CH_4	H, He y CH_4	CH_4
presión atmosférica en la superficie, en atmósferas	10—6	90	1	0.006						
Temperatura media, s = sólido n = nubes	350ºdía —170ºnoch.	—33ºn 480ºs	22°s	—23ºs	—150ºn	—180°n		—210ºn	—220ºn	
Satélites conocidos:	0	0	1	2	14	10		6	2	0
Radiación solar que recibe por unidad de área, Tierra = 1	6.9	1.9	1	0.43	0.04	0.01	0.005	0.003	0.001	0.0006

El Sol: Diámetro = 1391000 Km, Volumen = 1300000 de la Tierra, Densidad = 1.4, período rotación 27d, Masa = 333,400 la terrestre, mayor que 700 veces la masa de todos los planetas, gravedad = 27.9 la terrestre, Inclinación de su eje = 7º10' Temperatura de la fotósfera = 6000ºC.
La Luna: Diámetro = 3476 Km, Volumen = 0.02 terrestre, Densidad = 3.39. Período de rev. y rot. = 29d.12h. Gravedad = 1/6 la terrestre, No tiene atmósfera, Masa = 0.012 la terrestre. Vel. de escape = 2.38 K m/s.